



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

**Evaluación Técnico-Económica para la Implementación e Instalación de un Bosque
Eólico de 15 Mw en las Costas de la ciudad de Pacasmayo- La Libertad.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico**

AUTOR:

Abanto Vásquez Franklin Lázaro (ORCID: 0000-0003-4423-8435)

ASESOR:

Mg. Sifuentes Inostroza Teófilo Martin (ORCID: 0000-0001-8621-236X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

TRUJILLO – PERÚ

2020

Dedicatoria

Al todo poderoso Dios, en primer lugar, por brindarme la vida y salud y guiarme por el sendero correcto de la vida, para así poder llegar a cumplir mis objetivos y metas trazadas, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, por la sabiduría para desarrollar y culminar mi tesis.

A mis padres a quienes les debo todo en la vida, les agradezco por su amor, cariño, comprensión, paciencia y apoyo para salir adelante en todo lo que me he propuesto. Gracias a ti papá Lázaro Abanto Carrera, por apoyarme, inculcarme valores, brindarme siempre tu apoyo para salir adelante. A mi madre Victoria Vásquez Huamanchumo, gracias por tu sacrificio, tu esfuerzo para sacarme adelante y por toda la confianza que depositaste en mí y porque siempre estas a mi lado.

Franklin Abanto Vásquez

Agradecimiento

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiarme a lo largo de todo el camino de mi carrera profesional, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de conocimiento, aprendizaje. Por ello con toda la humildad que mi corazón puede emanar dedico primeramente mi trabajo a Dios.

Los Pilares de mi formación como Persona y Profesional

Mi sincero agradecimiento a mis padres Victoria y Lázaro por brindarme su apoyo incondicional en cada momento, por los valores que me han inculcado, por haberme enseñado con perseverancia y coraje a alcanzar las metas que me haya propuesto, también por brindarme la oportunidad de tener una excelente educación en mi vida. Por llenar mi vida con su ejemplo, su cariño, amor apoyo incondicional hasta el día de hoy los amo.

A mis hermanas y demás familiares por ser parte importante en mi vida y constituir mi familia, por ser un ejemplo de perseverancia y superación constante para mí, gracias por llenar mi vida de dicha, felicidad y amor a pesar de todo lo que hemos tenido que pasar los amo.

A mi casa de estudios Universidad Cesar Vallejo, a la carrera de Ingeniería Mecánica, a los docentes, ya que gracias a su labor profesional de forjadores de nuevos profesionales me permitieron adquirir los conocimientos que me permitirán desenvolverme y desempeñarme en mi carrera profesional y en mi vida de profesional.

A mis asesores los ingenieros Sifuentes Inostroza Martin y Jorge Inciso Vásquez les expreso mi gratitud sincera, gracias por sus conocimientos, experiencia, apoyo y dedicación, me supieron encaminar y guiar de forma satisfactoria en el desarrollo de mi investigación.

A mis amigos y compañeros de clases con los cuales compartimos muchas experiencias en nuestra formación como profesionales.

Página del Jurado


Declaratoria de Autenticidad

Yo Franklin Lázaro Abanto Vásquez, con DNI N° 46642884, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, diciembre de 2019



FRANKLIN LAZARO ABANTO VASQUEZ

Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Página del Jurado	iv
Declaratoria de Autenticidad.....	v
Índice de Tablas	viii
Índice de Figuras.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Realidad Problemática.....	2
1.2 Trabajos Previos	3
1.3 Teorías relacionadas al Tema	6
1.4 Formulación del Problema	38
1.5 Justificación del Estudio	39
1.5.1 Justificación.....	39
1.6 Hipótesis.....	40
1.7 Objetivos	40
Objetivo General	40
Objetivos Específicos	40
II. MÉTODO.....	41
II. MÉTODO.....	42
2.1. Diseño de Investigación.....	42
2.2. Variables, Operacionalización	42
2.2.1 Variables	42
Conceptualización de Incógnitas	42
2.3 Población y Muestra.....	43
2.4 Métodos y herramientas para la obtención de información, validez y confiabilidad	43
2.4.1. Técnicas.....	43
2.4.2. Instrumentos	43
2.5 Técnica de investigación de datos	44
III. RESULTADOS.....	45
III. RESULTADOS.....	46
3.1.1 Evaluación de las condiciones ambientales eólicas.	46

3.2 Poder eólico utilizable	47
3.3 Determinar La Zona De Ubicación Del Bosque Eólico.....	57
3.4 Determinación del mensuramiento, elección de Aerogenerador	58
3.5 Suficiencia de poder eléctrico a procrear por medio del bosque.	67
3.6 Validar Los Factores De Confianza De La Torre Eólica.	67
3.7 Distribución Del Bosque Eólico.....	69
3.8 Determinar Los Parámetros Económicos Del Proyecto.	70
IV. DISCUSIÓN	85
IV. DISCUSIÓN	86
V. CONCLUSIONES.....	87
V. CONCLUSIONES	88
VI. RECOMENDACIONES	89
VI. RECOMENDACIONES.....	90
VII. REFERENCIAS	91
VII. REFERENCIAS.	92
REFERENCIAS.....	92
ANEXOS	94
ANEXOS	95
Anexo 1 Mapa Eólico del Perú Preliminar	95
Anexo 2. Mapa Eólico de La Libertad-Perú. Ministerio de Energía y Minas.....	96
Anexo 3. Mapa Eólico de La Libertad-Perú en cada estación del año. Ministerio de Energía y Minas.....	97
Anexo 4. Mapa eólico de Perú. Vientos anuales a 80 metros de altura. Ministerio de Energía y Minas.....	98
Anexo 5. Mapa Eólico de Perú. Vientos anuales a 100 metros de altura. Ministerio de Energía y Minas.....	99
Anexo 6 Vista Satelital de la Provincia de Pacasmayo	100
Anexo 7 Área Donde se Desarrollará el Futuro Bosque Eólico	100
Anexo 8: Catalogó de Dimensionamiento de Cables NYY DUPLEX/TRIPLE - INDECO.....	101
Anexo 9: Datos Técnicos del Aerogenerador seleccionado Gamesa G58 – 850 KW.....	103
Anexo 10: Cuadro de Potencia Eléctrica Producida (2014 – 2015).....	104
Anexo 11: Distribución de los Aerogeneradores.	116
Anexo 12: Diagrama Unifilar del Bosque Eólico	117

Índice de Tablas

Tabla nro. 1: Tabla de eficiencia característica.	18
Tabla nro. 2: Selección de alabes conforme a celeridad.	28
Tabla nro. 3 : Valores típicos del enlace entre sustentación y arrastre (CD/CL), de y CL para un cifra de espacio de sustentación.	29
Tabla nro. 4: Valores de Reynolds.....	30
Tabla nro. 5: Frecuencias de la velocidad del viento.....	46
Tabla nro. 6: Histograma de frecuencias.	46
Tabla nro. 7: Histograma de Frecuencias.	47
Tabla nro. 8: Parámetros climáticos.	49
Tabla nro. 9: Densidades del aire.....	49
Tabla nro. 10: Datos del Alabe.	58
Tabla nro. 11: Magnitudes y Ángulos de Sección del Alabe.	59
Tabla nro. 12: Magnitudes Básicas del Perfil Naca 65-421.....	62
Tabla nro. 13: Magnitudes Básicas del Perfil Naca 65-421.....	63
Tabla nro. 14: Selección del Conductor.	70
Tabla nro. 15: Idea de Inversión	71
Tabla nro. 16: Inversión de Activos del Bosque Eólico.	83
Tabla nro. 17: TIR y VAN del Bosque Eólico.	84

Índice de Figuras

Figura nro. 1: Ejercicio del peso específico de la posibilidad de la rapidez del aire de Weibull ...	7
Figura nro. 2: Conducta de la rapidez del aire en un rotor bajo índole perfecta.	11
Figura nro. 3: Fórmula de fuerza de un rotor ejemplar en oficio del divisor de ralentización. ..	13
Figura nro. 4: Gráfica de la masa del viento en la parte posterior del rotor eólico.....	16
Figura nro. 5: Rapidez de los picos del alabe.	19
Figura nro. 6: Particularidad de la fórmula de la fuerza contra la rapidez específica de varios rotores de abscisa apaisado.	19
Figura nro. 7: a) Rotor pausado, reducido intervalo entre alabes; b) Rotor veloz, gran intervalo entre alabes.	20
Figura nro. 8: Las energías aerodinámicas lateral de una aeronave.	22
Figura nro. 9: Análisis de la energía aerodinámica que se ejerce encima del ala en los elementos de resistencia y sustentación.	23
Figura nro. 10: Coordenadas polares del perfil NACA 4421.	25
Figura nro. 11: La polar del perfil NACA 4421, con la fórmula de resistencia y sustentación y la atención en ejercicio del ángulo de ataque. El divisor ϵ es nombrado “atención” del perfil. (CL/CD).	26
Figura nro. 12: Coordenadas del perfil NACA 4421.....	27
Figura nro. 13. : Ángulos de cuerda.	29
Figura nro. 14: Autoridad del valor de alabes B y la relación CD/CL entre la fórmula de máxima fuerza permisible.	31
Figura nro. 15: Diferentes contornos perpendiculares de la velocidad del aire para diversas clases de pliegues de superficie.	37
Figura nro. 16: Perfil Naca 65 - 421.....	51
Figura nro. 17: CPM _{ax} Para B entregado a diferentes CD/CL.....	53
Figura nro. 18: CPM _{ax} Para B entregado a diferentes CD/CL.....	54

RESUMEN

La presente investigación trata sobre la Evaluación técnica y económica para la implementación de un bosque eólico en las costas de Pacasmayo de 15 Mw, frente a esta grave necesidad energética que afronta nuestro país, mostramos una de tantas formas muy versátiles de la utilización de los recursos naturales, con es el viento, sin afectar el medio ambiente, con los tan conocidos gases de efecto invernadero, emanados por la gran mayoría de plantas generadoras de energía eléctrica.

El bosque eólico objeto de este estudio estará ubicado en el Distrito de Pacasmayo – La Libertad, este bosque constara por 32 aerogeneradores que alimentaran el bosque eólico y cada aerogenerador contara con una potencia unitaria de 850 KW, lo que supone una potencia total instalada de 27.2 MW. La capacidad máxima del bosque eólico se logra suplir con solo 20 turbinas eólicas las cuales nos dan una potencia de 17 MW.

La energía eléctrica generada por el bosque eólico será vendida directamente al SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional).

El aprovechamiento de este potencial eólico no será fácil, sin embargo, utilizaremos una de las metodologías más representativas del cálculo de turbinas eólicas, como es la ley de Weibull, cumplimos con un cálculo de diseño en ingeniería capaz de aprovechar al máximo el tipo de perfil a utilizar en el rotor de nuestro aerogenerador.

Primeramente, en el proyecto se abordará la selección del emplazamiento del bosque eólico a partir de datos de la velocidad del viento en la zona. Posteriormente se realizó el cálculo de la potencia disponible, cálculo de la altura de la torre, los parámetros de seguridad de la torre, se evalúan los diferentes tipos de aerogeneradores para seleccionar el adecuado que cumpla con las características técnicas y mediante un estudio de la productividad del bosque eólico con el aerogenerador correspondiente. El aerogenerador seleccionado es de la marca Gamesa G58 – 850 KW.

También se incluye el análisis económico, en este proyecto se requiere de una inversión de 71914741.86 UU\$ con el cual se pretende dar una idea del capital necesario para la instalación y operación del bosque eólico de 15 MW.

PALABRAS CLAVES: Aerogenerador, Buje, Alabe y Rotor.

ABSTRACT

This research deals with the technical and economic evaluation for the implementation of a wind forest on the shores of Pacasmayo 15 Mw, from getting severe energy needs facing our country, we show one of many versatile ways of using resources natural, with the wind, without affecting the environment, with the well-known greenhouse gases, issued by the vast majority of electric power generating plants.

The purpose of this study wind forest will be located in the district of Pacasmayo - La Libertad, this forest consists of 32 wind turbines fed wind forest and each turbine will have a unit capacity of 850 KW, representing a total installed capacity of 27.2 MW. The maximum capacity of wind forest supply is achieved with only 20 wind turbines which give us a power of 17 MW.

The electricity generated by the wind forest will be sold directly to the SEIN (national grid).

The use of this wind potential will not be easy, but use one of the most representative methods of calculating wind turbines, as is the law of Weibull, we comply with a calculation of engineering design able to maximize the type of profile used in our wind turbine rotor.

First in the project siting of wind forest is addressed using data of wind speed in the area. Then calculating the available power was performed calculating the height of the tower, the security parameters of the tower, different types of turbines are evaluated to select the right that meets the specifications and through a study of productivity Wind turbine with corresponding forest. The wind turbine brand selected Gamesa G58 - 850 kW.

Economic analysis is also included in this project required an investment of US \$ 71914741.86 with which it is intended to give an idea of the capital needed for the installation and operation of the 15 MW wind forest.

KEYWORDS: Wind Turbine, Bushing, Alabe, Rotor

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

Para adquirir energía eléctrica por medio de combustibles fósiles en nuestro planeta se contamina, ha llevado a destrucción continua por parte de transmisión de gases nocivos tales son el dióxido de carbono, el cual contribuye al calentamiento global y a las lluvias acidas. A través de las nuevas incorporaciones de las potencias verdes e intercambiables y baratas podemos cooperar poco a poco a reducir la contaminación, optando por la fuerza eólica.

Un suministro rico, limpio, renovable, es la energía eólica la cual coopera a mitigar la transmisión de los gases de efecto invernadero al cambiar los sistemas de fuerza que funcionan a partir de combustibles fósiles, esto transforma en una modelo amigable a dicha energía, generalmente es poco dañino el efecto ambiental que esta fuente de energía provoca.

Lo que produce en energía eléctrica un aerogenerador es igual a la que se obtiene con mil kilogramos de petróleo, así podemos relacionar a la porción generada de energía en recambio de fuentes de energía fósil. Las toneladas de CO₂ por consumo de grandes cantidades de carbón por medio de centrales térmicas se reducirían.

Por lo tanto, con la creciente demanda de energía en nuestro país, ya sea para consumo doméstico o para el consumo de las industrias, las autoridades han puesto en marcha desde el 2011 varios planes de inversión en energía alternativas o limpias, las cuales se han centrado mayormente en las costas peruanas, ejemplos claros de estas inversiones son Marcona, Malabrigo, La brea, Talara y comandante Noel, Cupisnique 450 KW, 60 Mw, 170 Mw, 31 Mw, 120 Mw y 80 Mw respectivamente. (Ministerio de Energía y Minas, 2014).

Según nuestra cartografía eólica de nuestro país en el sector La Libertad hay un poderío del viento sobresaliente en la zona de las costas de Pacasmayo, conforme al OSINERGMIN las áreas geográficas de la costa donde no se han explotado la fuente eólica del distrito de Pacasmayo con medición anual constante a 80 m se encuentra entre 5 m/s a 6 m/s.

En las costas de la ciudad de Pacasmayo existen zonas que aún no han sido urbanizadas, estamos hablando de las zonas costeras, estas áreas serían idóneos para desarrollar un bosque eólico sin problema alguno.

1.2 Trabajos Previos

Antecedentes

Para este trabajo tomaron en consideración algunos antecedentes, los cuales hacemos mención:

Entorno Local:

- **Título:** Factibilidad Técnico Económica De La Instalación De Un Parque Eólico En El Litoral De Huanchaco.
- **Autor:** Edmundo Augusto Gamarra Osorio, Luis Abel López León
- **Institución:** Universidad Cesar Vallejo.
- **Lugar:** Trujillo – Huanchaco.
- **Fecha:** Año 2011.
- **Documento:** Tesis.

Resumen: En el siguiente proyecto trata acerca de la evaluación de dicho trabajo de investigación, frente a esta grave necesidad energético que afronta nuestro país, mostramos una manera muy versátil de la utilización de los Recursos naturales, como es el viento, sin afectar el medio ambiente, con los tales conocidos como gases de efecto invernadero, arrojados por la mayoría de plantas generadoras de energía eléctrica.

El aprovechamiento de este potencial eólico no será fácil, sin embargo, utilizaremos una de las metodologías más representativas de los cálculos de turbinas eólicas, como es la ley de Weibull, cumplimos con un cálculo de Diseño en ingeniería capaz de aprovecha al máximo el tipo de perfil a utilizar en el rotor de nuestros aerogeneradores, así como diferentes aparatos de campo como medidores de temperatura y velocidad de viento para lograr la Factibilidad de dicho parque eólico de Huanchaco.

Así mismo contamos con un estudio económico, estudio que pretende dar una idea del capital necesario, el implementar dicho grupo de aerogeneradores con capacidad en Mw de 10. Así como las actividades a realizar en el mantenimiento para dicho parque sea aprovechado de la mejor manera en las diferentes estaciones que comprenden nuestro litoral de Huanchaco.

Sin más preámbulos les presentamos esta tecnología eólica capaz de poder controlar el acelerado consume de energía eléctrica por parte de cada uno de los peruanos que crece día a día.

Conclusiones

A través del método de Weibull se pudo establecer velocidades promedio del viento que van desde 6 a 9 m/s en el distrito de Huanchaco.

También se pudo constatar el costo de 1'005 425.77 nuevos soles y 4.9 Mw que se consumen en un mes en el distrito de Huanchaco.

Se pudo hacer una proforma, en la cual se detalla el coste de 14 turbinas de 1.27 Mw por un monto de \$ 15'776 157.8 millones de dólares, esto es por obras civiles, montaje y funcionamiento del parque eólico.

Se logró determinar una tasa interna de retorno de inversión (TIR), del 16805,18% con un valor actual neto (VAN), \$ 24'722 475,4.

Se logró seleccionar el tipo de aerogenerador que más se adapta a nuestro dimensionamiento.

- Dicha tesis ofrece una amplia información sobre parques eólicos, de la cual pude rescatar una variedad de fórmulas que intervienen en el proceso de los cálculos y definiciones de partes de turbinas.

Entorno Nacional:

- **Título:** Central Eólica De San Juan De Marcona
- **Autor:** Emilio Mayorga Navarro
- **Institución:** Adinelsa (Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica S.A)
- **Fecha:** Año 2004
- **Lugar:** Nazca-Ica
- **Documento:** Informe Técnico

Resumen: En San Juan de Marcona (45 msnm), departamento de Ica, el 3 de diciembre de 1999 se instaló un aerogenerador marca Mitsubishi MWT-450, en una altura de 40 m se registran vientos de 9.12 m/s. La potencia nominal de dicho aerogenerador es de 450 Kw y cuenta con 3 alabes y pose un diámetro de rotor de 39 m, cuenta con un generador asíncrono, con un sistema de arranque a partir de vientos de 12.8 m/s y se interrumpe con vientos de 24 m/s, sus 40 m es lo que cuenta su altura de torre, beneficiando así a 3216 habitantes, 643 viviendas.

Inversión: US\$ 536 490,00

Producción Promedio: 1.62 Mw-h/mes

- Se pudo obtener información técnica sobre aerogeneradores, también se rescató información sobre costos de inversión, los cuales fueron de ayuda para la ejecución de mi tesis.

En el contexto Internacional:

- **Título:** Parque Eólico Cassino.
- **Autor:** Carlos Carchenilla Valle.
- **Institución:** Universidad Politécnica de Madrid.
- **Lugar:** España.
- **Fecha:** Año 2013.
- **Documento:** Proyecto de Fin de Carrera.

Resumen: En las últimas décadas las energías renovables han experimentado un despegue, esto se ha extendido por el mundo entero ha ido tomando importancia como una alternativa de energía a las fuentes renovables. Los países asociados al Protocolo de Kyoto, han asumido el reto con el propósito de disminuir emisiones, están apostando por la energía eólica como fuente viable para la producción de energía eléctrica. Para el 2011 Brasil alcanzó 1.509 MW instalados, lo cual representa el 50% para América del Sur, lo sigue México con un 31%.

El alto potencial eólico, también un marco legal favorable hacen que este tipo de energía tenga un crecimiento favorable para los próximos años se estima que 20.000 MW para 2020.

El parque eólico del estado de Rio Grande do Sul, se encuentra conformado por 33 aerogeneradores de 2 MW de potencia unitaria, llevando una potencia total instalada de 66 MW.

Al año generará 272,8 GWh/año. El gobierno de Brasil venderá esta energía mediante contrato de compra venta de energía en su sistema de subasta.

Lo primero en el proyecto es que a partir de datos del viento de la zona se estudien para evaluar el potencial eólico para poder maximizar la ubicación de las turbinas eólicas.

Para la instalación se comparan varios tipos de aerogeneradores, para la elección del aerogenerador se tienen en cuenta las características técnicas de la máquina y un estudio de la productividad del parque eólico. Se opta por el aerogenerador G97-2.0 de GAMESA.

La ejecución técnica se lleva a cabo de manera que los impactos ambientales sean mínimos según lo que indica el Estudio de Impacto Ambiental efectuado.

Se requiere una inversión de 75,4 M€, para este proyecto, teniendo un financiamiento externo del 80% y el 20% son recursos del promotor.

Del estudio económico se deduce que el proyecto es rentable y viable económicamente desde el punto de vista financiero y técnico.

Conclusión

Los puntos que afectan un proyecto de energía eólica son la velocidad del viento, el precio de venta de la energía eólica, los costos de inversión. La inversión en energía eólica tiene el potencial benéfico para apaciguar el cambio climático. En la evaluación económica de un proyecto de esta índole la venta de bonos de carbono es un factor clave por los efectos en la rentabilidad e ingresos del mismo.

Con la ayuda de los datos de inicio y los resultados obtenidos, se tiene un Valor actual neto de 116 millones de euros con una Tasa interna de retorno de 23,73%, dicho proyecto es viable económicamente.

- Se obtuvo información relevante sobre el análisis financiero del proyecto, la distribución de los aerogeneradores, también sobre el diagrama unifilar del parque eólico, estos aportes fueron de mucha ayuda para el desarrollo de esta tesis.

Para destacar una mejor comprensión y entendimiento de este estudio se presenta el siguiente Marco Teórico, el que empieza por:

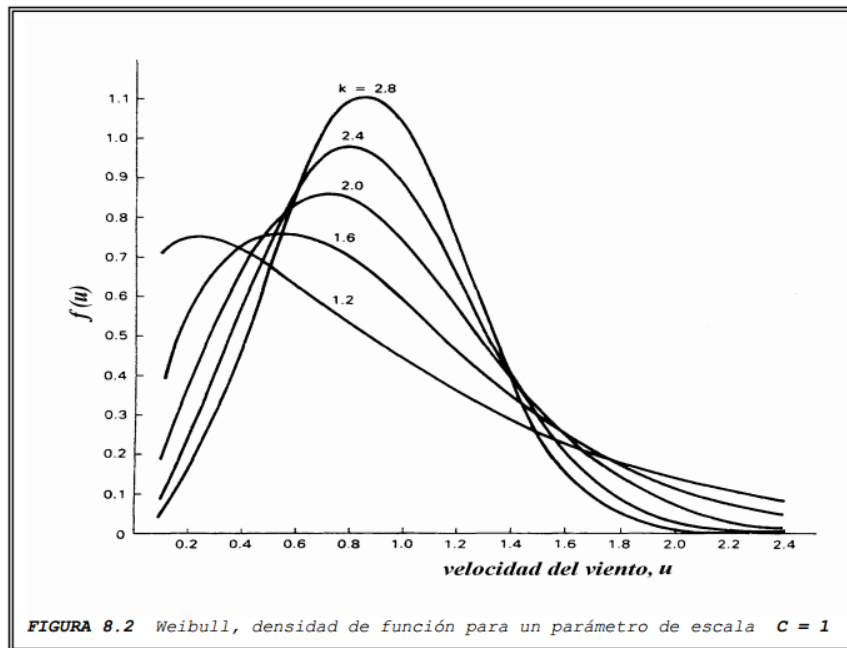
1.3 Teorías relacionadas al Tema

Representación Estadística Del Viento

Con esto se recurre en la conceptualización a partir de su velocidad del viento ya que es variante imprescindible en distribución de cierta función. En mención a cualidades extendidas, fortuitas de fuerza eólica, la forma única comprensible para verificar si es conveniente el emplazamiento o no usando la estadística para dicha mención.

Comúnmente se sabe que en la partición de dos Factores: factor de escala c y factor de distribución k . Utiliza la distribución de Weibull.

Figura nro. 1: Ejercicio del peso específico de la posibilidad de la rapidez del aire de Weibull



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Es fundamental adecuar la partición de velocidades que permita una función en intervalos de periodos de tiempo (365 días calendarios), la densidad de probabilidad la función $f(v)$ corresponde a la ley de Weibull del tipo de dos parámetros (k, c) se representa por el enunciado:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

$f(v)$: funcion densidad de la probabilidad de Weibull

v : velocidad del viento (m/s)

c : Es factor de escala $\left(\frac{m}{s} \right)$ valor que puede ser proximo a la velocidad media.

k : Es el factor que caracteriza la asimetria o sesgo de la funcion probabilidad .

La densidad de la probabilidad presenta un máximo para una velocidad v_m dada por:

$$\frac{v_m}{c} = \left(\frac{k-1}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

v_m : Velocidad

k : Factor característico de asimetría de la función de probabilidad.

A manera ilustrativa, sin que los datos presentados correspondan a valores reales de velocidad del viento en la figura antes mencionada, se da a conocer la manera de la densidad de probabilidad de Weibull en el parámetro k para varios datos, para el punto $c=1$.

El valor de velocidad V en una frecuencia acumulada F se representa:

$$F(v \leq V) = \int_0^V p(v)dv = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \dots\dots\dots (3)$$

La ecuación anterior autoriza determinar las velocidades igual o menor al valor V de la frecuencia acumulada. Infinidad de veces se usan las distribuciones acumuladas complementarias \bar{F} que autoricen determinar velocidades de la frecuencia acumulada mayores e igual al valor V .

Función \bar{F} esta mencionada:

$$F(v \leq V) = 1 - \bar{F}(v \leq V) = e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \dots\dots\dots (4)$$

Energía eólica teoría básica: La energía cinética que corresponde a la energía eólica que posee, que bien definida por la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{1}{2} m * V^2 \dots\dots\dots (5)$$

Dónde:

E_c : Energía cinética

m : Masa del viento

V : Velocidad del viento

Se conoce por termodinámica que la característica total es parte de la densidad, viene definida a razón recalar el volumen y masa de una sustancia, donde expresando densidad en función, se tiene:

$$m = \rho * Vol..... (6)$$

Dónde:

m: Masa

ρ : Densidad

Vol: Volumen

Reemplazamos (6) en (5), se tiene:

$$E_c = \frac{1}{2} \rho * Vol * V^2 (7)$$

Dónde:

E_c : Energía Cinética

Vol: Volumen

V: Velocidad

Al observar la ecuación anterior es apreciable la relación proporcional de la energía del viento con la densidad y volumen, propiedades termodinámicas, y el cuadrado de la velocidad del viento.

A continuación, se da a conocer un modelo experimental que muestra de cambio de la densidad con la velocidad de viento, así.

$$\rho = \rho_0 = 1.194 * 10^{-4} * H_m (kg/m^3) (8)$$

Dónde:

ρ : Densidad del aire a una altura H_m sobre el nivel del mar (kg/m^3)

ρ_0 : Densidad a nivel del mar, $1.225 (kg/m^3)$

H_m : Altura sobre el nivel del mar (m)

La Cantidad de masa que circula con una velocidad atravesando un área determinada se conoce como caudal:

$$Q = V * A..... (9)$$

Dónde:

Q: Caudal

V: Velocidad

A: Área

Se sabe también que el caudal es la razón entre el volumen de una sustancia por unidad de tiempo, así igualando a la ecuación (7) se tiene:

$$\text{Vol} = V * A * t \dots\dots\dots (10)$$

Dónde:

Vol: Volumen

A: Área

t: Unidad de tiempo

Reemplazamos (10) en (7) se obtiene la potencia (energía cinética sobre tiempo) posible extraída del viento, así:

$$P = \frac{1}{2} \rho * A * V^3 \dots\dots\dots (11)$$

Dónde:

P: Potencia

ρ : Densidad

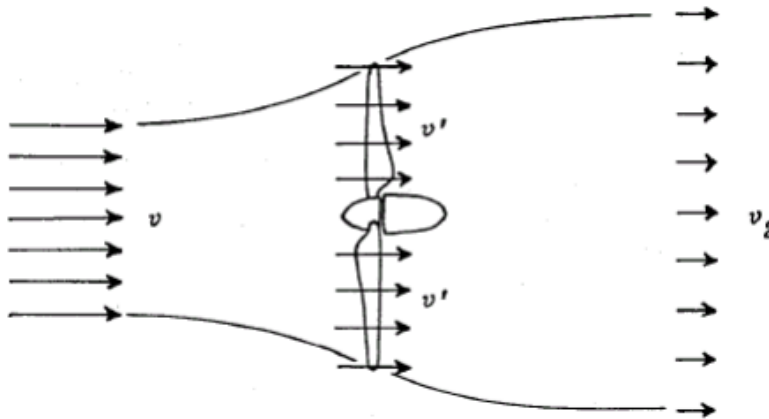
A: Área

V: Velocidad

Se observa que se define de forma en relación de la densidad y al cubo de la velocidad, para examinar la ecuación ya antes mencionada de la velocidad del viento probable. Es decir, la potencia posible de ser aprovechada será mayor en lugares ubicados a nivel del mar y que tenga una determinada velocidad del viento.

El rotor ideal eólico: Límite de Betz: Imaginemos un rotor eólico que trabaja con el origen de empuje aerodinámico, impulsado por la velocidad del viento de manera constante. Los alabes en su superficie de barrido es F [m²]. Se ensambla en el rotor una bomba de agua o un generador eléctrico, aprovechando la energía del viento, en la parte posterior del rotor la velocidad es menor en comparación corriente arriba del viento.

Figura nro. 2: Conducta de la rapidez del aire en un rotor bajo índole perfecta.



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Dónde:

v : velocidad del viento delante del rotor

v' : velocidad del viento a la altura del rotor

v_2 : velocidad detrás del rotor

Siendo $v_2 < v' < v$

Los frutos obtenidos a seguir son válidos en condición ideal, como son la del viento y del rotor a saber según Betz.

- El rotor tiene infinito número de palas diseñadas óptimamente, no presentan pérdidas aerodinámicas, tampoco mecánicas.
- El aire está exento de fricción y es incomprensible.

- En la parte delantera y posterior en el rotor la corriente es laminar, en el plano del rotor las líneas de flujo son perpendiculares y paralelas entre sí. Se entiende que un rotor saca fuerza del viento sin producir variaciones en su corriente ideal, manteniendo en la parte delantera y posterior del rotor igual la presión estática del aire.

Solo es válida la relación de [Betz], en estas condiciones:

$$v_1 = \frac{v_0 + v_2}{2} \dots\dots\dots (12)$$

La velocidad en la parte delantera y posterior es la media aritmética de la altura de la velocidad del viento.

Esta relación es denominada por Betz.

$$a = \frac{v_2}{v_1} \dots\dots\dots (13)$$

Divisor de ralentización del viento a la altura del rotor.

La figura N° 3 señala de conexión $P_{\text{aerogen}}/P_{\text{viento}}$ en oficio del divisor de ralentización.

La potencia máxima a obtener $P_{\text{aerogen-max}}$ puede establecer analítica y gráficamente par la ralentización óptima.

$$a_{\text{optima}} = \frac{2}{3} = 0.67 \dots\dots\dots (14)$$

Es decir:

$$P_{\text{Aerogener.Max}} = \frac{16}{27} * P_{\text{viento}} = 0.5926 * P_{\text{viento}} \dots\dots\dots (15)$$

Dónde:

$P_{\text{Aerogener.Max}}$: Potencia máxima del aerogenerador

P_{viento} : Potencia del viento

En la parte literal o introducción de los aerogeneradores, la relación:

$$C_p = \frac{P_{\text{util}}}{P_{\text{viento}}} \dots\dots\dots (16)$$

Dónde:

C_p : Coeficiente de Potencia

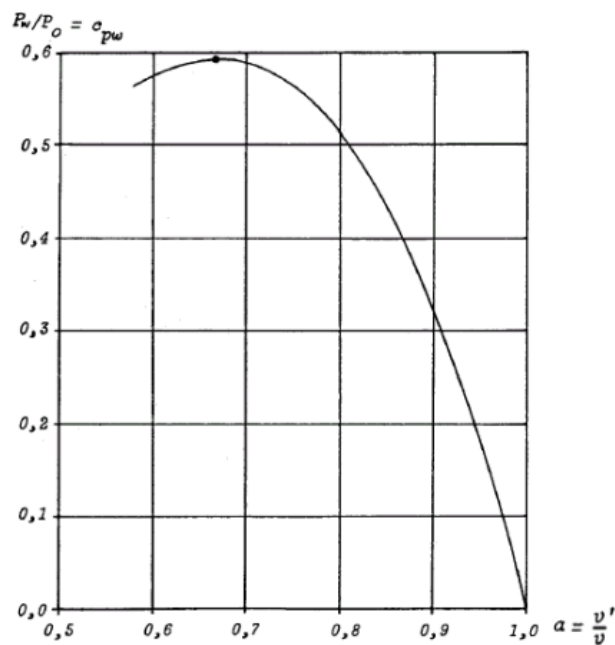
P_{util} : Potencia Útil

P_{viento} : Potencia del Viento

$$C_{p,\text{max}} = \frac{16}{27} = 0.5926 \dots\dots\dots (17)$$

Por ello, el rotor ideal eólico únicamente puede beneficiarse 0.592592 fuerza de viento.

Figura nro. 3: Fórmula de fuerza de un rotor ejemplar en oficio del divisor de ralentización.



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Dado la ecuación N° 15, la fuerza máxima de un rotor es:

$$P_{\text{Aerogen.Max}} = C_{p\text{ max}} * P_{\text{viento}} \text{ (W)} \dots\dots\dots (18)$$

Dónde:

$P_{\text{Aerogen.Max}}$: Potencia Máxima del Aerogenerador

$C_{p \text{ max}}$: Coeficiente de Potencia Máxima

P_{viento} : Potencia del Viento

O teniendo en cuenta la ecuación (11):

$$P_{\text{Aerogen.Mmax}} = C_{p \text{ max}} * \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 \dots\dots\dots (19)$$

Dónde:

$P_{\text{Aerogen.Max}}$: Potencia Máxima del Aerogenerador

$C_{p \text{ max}}$: Coeficiente de Potencia Máxima

ρ : Densidad

A: Área

V: Velocidad

En estados habituales (temperatura 10°C, presión 1 bar), la densidad del aire es aproximadamente 1.25 kg/m³. Insertando este parámetro en la ecuación (19), para la potencia del rotor ideal encontramos esta ecuación sencilla.

$$P_{\text{Aerogen.Mmax}} = 0.37 * A * V^3 \dots\dots\dots (20)$$

Dónde:

$P_{\text{Aerogen.Max}}$: Potencia Máxima del Aerogenerador

A: Área

V: Velocidad

Esta ecuación se titula límite de Betz.

Dónde A es el espacio (m²) barrida por la longitud aerodinámica útil de la pala. No se aporta potencia por las palas que están fijadas en el buje del rotor de eje horizontal. El diámetro del rotor D (m) es menor. Para A introducimos lo último de la superficie de barrido.

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \dots\dots\dots (21)$$

Dónde:

A: Área

D: Diámetro

El rendimiento del rotor eólico no ideal: En las maquinas, el rotor eólico manifiesta desgastes o pérdidas. Diferenciamos entre los desgastes aerodinámicos, mecánicos y eléctricos.

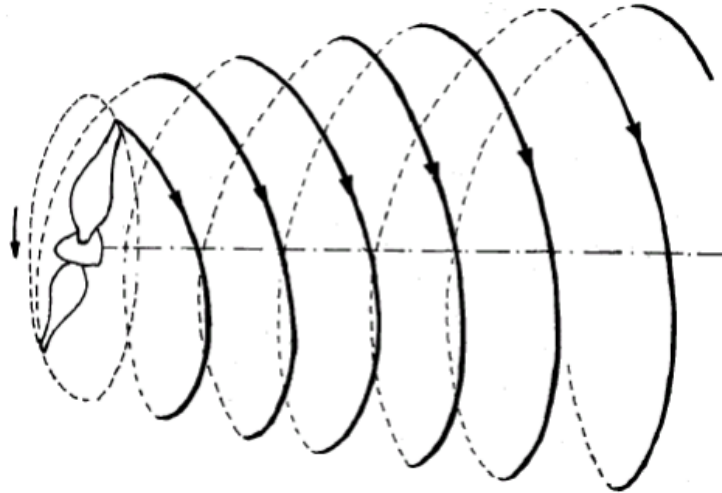
- **Desgastes mecánicos:** Presenta desgastes mecánicos por fricción. Las correas de transmisión, engranajes, el generador eléctrico y los cojinetes del eje de transmisión.
- **Desgastes eléctricos:** el alternador, la(s) batería(s), los cables y presentan desgastes porcentuales otros equipos eléctricos miembros del aerogenerador.

Desgastes aerodinámicos:

- **Los alabes de un rotor eólico no son ideales:** aerodinámicamente ejercen una oposición, el rotor ofrece un giro opuesto a la fuerza que siempre está.
- Desgastes ocasionados por la desaceleración no ideal del aire a la altura del rotor, por cualquier cambio de las condiciones aerodinámicas, de la posición y forma adecuada de los alabes ocasionará una desaceleración no ideal ($a \neq 2/3$) generando un déficit en la intensidad del rotor.
- **Desgastes ocasionados por las turbulencias:** demostremos que los rotores con múltiples alabes permiten mayor torque, la contraparte es que generan elevados desgastes aerodinámicos, los cuales son ocasionados por fluctuaciones, el aprendizaje de fluctuaciones que se generan a partir de la acción es un estudio fuertemente dificultoso. La masa de aire en giro refleja un desgaste agregado de energía cinética del aire entrante, esta fuerza aumenta con el torque desarrollado en el rotor. En la parte posterior del rotor en movimiento el aire no se mueve de manera laminar, toma la figura

de sacacorchos en la zona del eje de rotación. En las puntas de los alabes se forman torbellinos que viajan a altas velocidades, la fuerza que entregan dichas fluctuaciones resta la potencia del rotor.

Figura nro. 4: Gráfica de la masa del viento en la parte posterior del rotor eólico.



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Estos daños provocan que el límite de Betz no se pueda obtener. La utilidad del rotor eólico se contextualiza de la posterior forma.

$$\eta_{\text{rotor eólico}} = \frac{P_{\text{util}}}{P_{\text{Aerogen max}}} \dots\dots\dots (22)$$

Dónde:

$\eta_{\text{rotor eólico}}$: Eficiencia del Rotor Eólico.

P_{util} : Es fuerza favorable en el eje del rotor.

$P_{\text{Aerogen.Max}}$: Fuerza Máxima del Aerogenerador

La ecuación (17) el coeficiente de potencia del rotor.

$$C_p = \frac{P_{\text{util}}}{P_{\text{viento}}} \dots\dots\dots (23)$$

Dónde:

C_p : Coeficiente de Potencia

P_{util} : Potencia Útil

P_{viento} : Potencia del Viento

El rendimiento de un aerogenerador: Una bomba de agua o generador eléctrico es impulsado por el rotor, se establece que entre la máquina y el rotor se deben instalar un conjunto multiplicador con engranes, poleas y fajas de transmisión, estas deberán mantener la velocidad de torque del rotor hacia la máquina a mover.

Vamos a definir al bosque eólico como la agrupación integrada por engranajes, cables, rotor, fuente de almacenamiento de energía, entre otros componentes mecánicos o electrónicos.

Dónde:

$$P = 0.37 * n_T * A * V^3 \dots\dots\dots (24)$$

Dónde:

P: Potencia

n_T : Rendimiento total

A: Área

V: Velocidad

Dónde:

$$n_T = n_F * n_{tr} \dots\dots\dots (25)$$

Dónde:

$\eta_{\text{rotor eolico}}$: Rendimiento del Rotor Eólico.

P_{util} : Fuerza útil en el eje del rotor.

$P_{\text{Aerogen.Max}}$: Máxima fuerza del Aerogenerador

La productividad de todo el bosque es idéntica al producto de las partes que definen al bosque.

El factor de potencia C_p del bosque se determina con la ecuación.

Tabla nro. 1: Tabla de eficiencia característica.

Nombre	Eficiencia (η)
Rotor eólico	30 – 80
Engrane	50 – 80
Alternador eléctrico	50 – 98
Bomba a pistón	60 – 80
Sistema acumulador:	
Eléctrico	
Condensador	Máximo 50
Electroquímico	
Pila	60 – 80
Químico	
Hidrógeno H ₂ (gas)	20 – 50
Hidrógeno H ₂ (líquido)	20 – 40
Mecánico	
Volante de inercia	85 – 95
Aire comprimido	Máximo 65

Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Velocidad específica de un rotor eólico: La narración de operación y cálculo de la manera y lugar adecuado de los alabes del rotor, iniciación de una mencionada velocidad específica λ_0 demuestra gran utilidad.

$$\lambda_0 = \frac{\mu_0}{v} \dots\dots\dots (26)$$

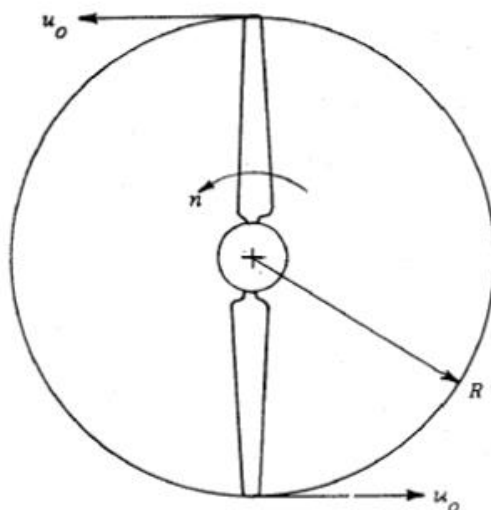
Dónde:

λ_0 : Velocidad Específica

μ_0 : Velocidad de las puntas de las palas

v: Velocidad del viento delante del rotor

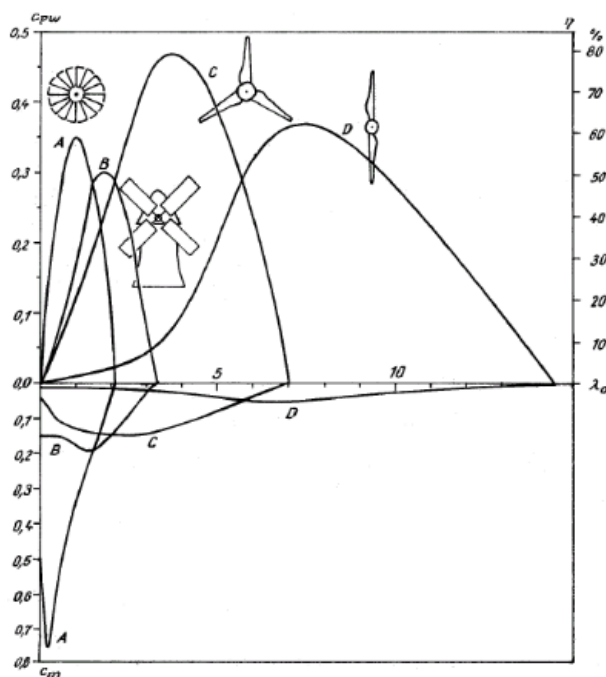
Figura nro. 5: Rapidez de los picos del alabe.



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Las aspas del rotor tienen un trabajo óptimo, entregan su potencia máxima bajo una cierta velocidad específica λ_0 para las que fueron elaboradas. Cualquier fluctuación de este dato se verá afectado el rendimiento del rotor.

Figura nro. 6: Particularidad de la fórmula de la fuerza contra la rapidez específica de varios rotores de abscisa apaisado.



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Dónde:

A: Turbina estadounidense de bombeo de 16 alabes (λ_d de numeración 1).

B: Molino holandés de 4 alabes (λ_d de numeración 2).

C: Eólica moderna rápida de 3 alabes (λ_d de numeración 3 y 5).

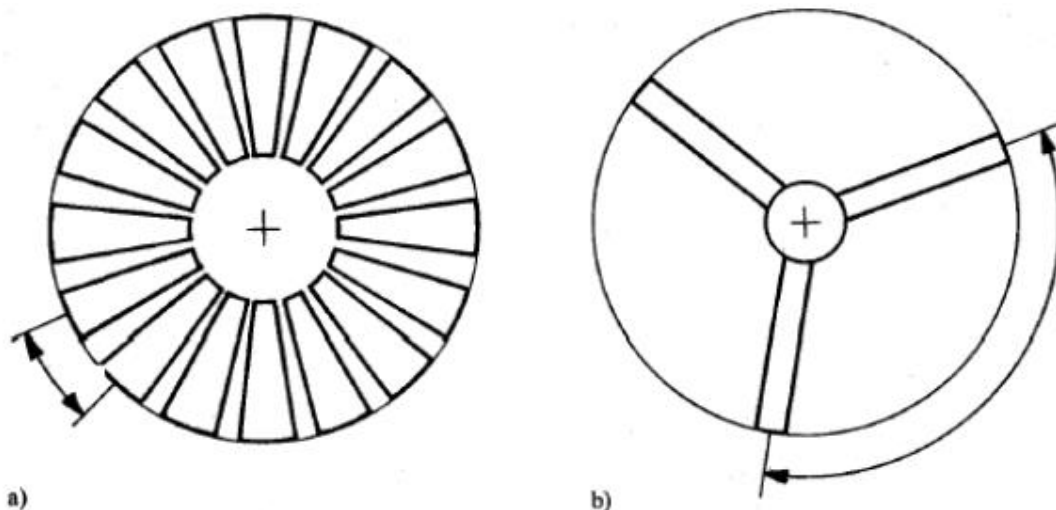
D: Eólica moderna rápida de 2 alabes (λ_d de numeración 7 y 9).

Las velocidades específicas nominales λ_d cada modelo de rotor se halla debajo de los máximos de las respectivas características, es decir:

En campo, se conocen rotores con $0,9 < \lambda_d < 15$, en casos excepcionales hasta 20. La velocidad específica nominal λ_d , deja registrar de forma siguiente: aquellos con λ_d hasta 3 se denominan “lentos” y los de $\lambda_d > 4$ “rápidos”.

La huella óptima es la separación entre los alabes, que crecen con la velocidad específica nominal (Esquema N.º 7). Los únicos rotores lentos, las llamadas turbinas norteamericanas, suelen usar el sector agrícola en los años 1850 e inicios de los años 1900 con el fin de extraer el líquido de vida, están conformados por muchos alabes. Los rotores con nueva tecnología con $\lambda_0 = 14$ a más suelen llevar un único alabe.

Figura nro. 7: *a) Rotor pausado, reducido intervalo entre alabes; b) Rotor veloz, gran intervalo entre alabes.*



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Los principios de la mecánica, la velocidad específica se determina desde la velocidad de rotación del rotor, la velocidad de un punto que gira alrededor de un eje es (grafica N.º 4).

$$\lambda_o = \frac{2 * \pi * R}{60} * n \dots\dots\dots (27)$$

Dónde:

λ_o : Velocidad Específica

n: Torque de rotor (rpm)

R: Radio (metros)

Ingresando en la ecuación (27), en $R=D/2$ conseguiremos:

$$\lambda_o = \frac{\pi * D * n}{60 * v} \dots\dots\dots (28)$$

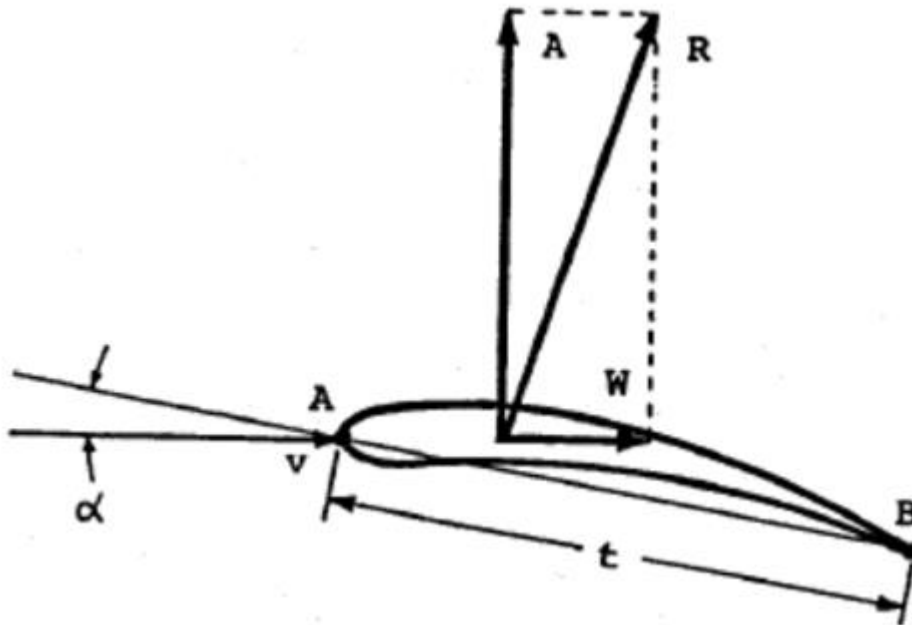
Sabiendo el diámetro del rotor, velocidad del viento y velocidad de giro, formula (29) procedemos a determinar la velocidad específica momentánea λ_o .

Velocidad de giro de un rotor Eólico.

$$n = \frac{60 * \lambda_o * v}{\pi * D} \dots\dots\dots (29)$$

Fuerza aerodinámica del ala: Imaginemos al avión que se desplaza a velocidad V a favor de la masa del aire, proyectemos el ala del avión quieta siendo impactada por la fuerza del aire con velocidad V . Analicemos el perfil del ala de un avión (gráfica N° 8).

Figura nro. 8: Las energías aerodinámicas lateral de una aeronave.



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

\overline{AB} : (cuerda del ala): línea imaginaria que une entre si los puntos del perfil más alejados.

α : ángulo de ataque: ángulo formado por la cuerda del perfil en dirección horizontal del viento.

t : longitud de cuerda *del perfil* : *ancho del alabe*.

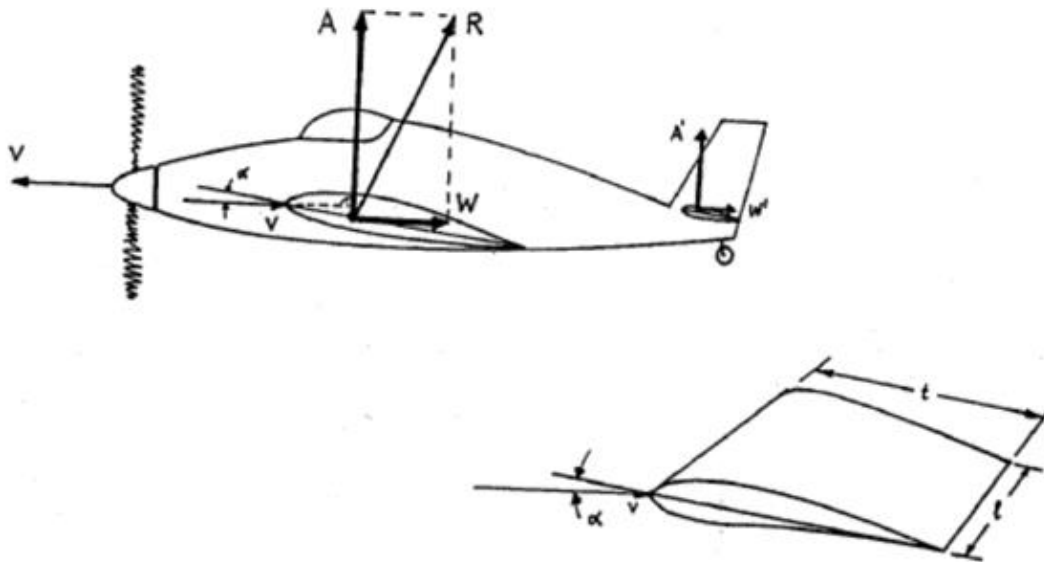
El borde de ataque, el canto posterior borde de fuga. La zona baja del perfil recibe el nombre de intradós y la zona superior extradós.

En un punto del perfil llamado centro dinámico de momento no definido se crea una fuerza R , que se puede descomponer en una componente vertical A (sustentación) y en una componente horizontal W (resistencia).

El impulso A lleva el avión para arriba, en otras palabras, lo mantiene en el aire, por otro lado, el impulso W lleva para atrás, en otras palabras, va en dirección contraria al recorrido del avión,

por otro lado, el trabajo de las turbinas es tapar este déficit aumentando el mayor ingreso de combustible.

Figura nro. 9: *Análisis de la energía aerodinámica que se ejerce encima del ala en los elementos de resistencia y sustentación.*



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

El estudio en el mayor de los casos es la fuerza útil \$A\$ interesarnos, procuraremos reducir la resistencia \$W\$. Por otro lado, existen turbinas eólicas que se apoyan en la resistencia del aire esto hace que su rendimiento decaiga a comparación de aquellas que usan la fuerza motriz como sustentación.

En figura nro. 9 es asimétrico con respecto a su cuerda. Dichos perfiles se apoyan incluso cuando el ángulo de ataque es igual a cero, es decir, cuando la cuerda del perfil es paralela a la corriente de aire, cosa que no ocurre con los perfiles simétricos, que por regla general también tienen una menor sustentación que los asimétricos.

Determinación de fuerzas de resistencia y sustentación: para la aerodinámica se suele expresar la fuerza de resistencia y sustentación así:

$$F_L = C_L * \frac{\rho}{2} * c * R * V^2 \dots\dots\dots (30)$$

$$F_D = C_D * \frac{\rho}{2} * c * h * R * V^2 \dots\dots\dots (31)$$

Dónde:

ρ = La densidad del aire (kg/m^3)

h = Altura de la cuerda (m)

C = Cuerda de la pala (m)

R = Radio de la pala (m)

Los divisores que no tienen unidades C_L y C_D definiéndose cada uno como, coeficiente de sustentación y coeficiente de resistencia de perfil.

Los divisores están ligados a la figura del perfil, configuración de la superficie rugosa o lisa, del enlace longitud/ alargamiento de ala y del ángulo de ataque.

Polares de un perfil: teóricamente no se pueden hallar los coeficientes de sustentación y resistencia.

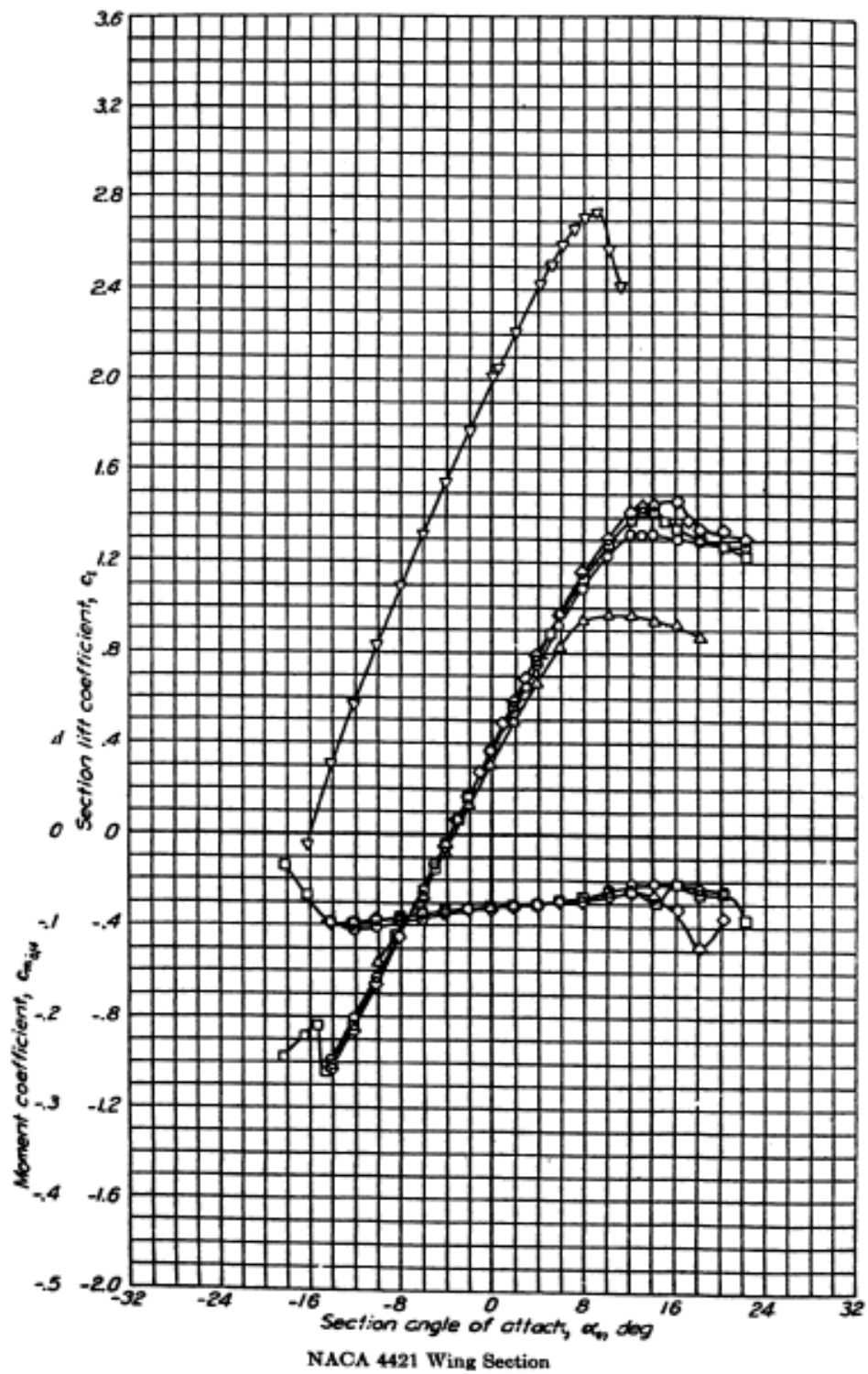
Apoyándose en esquemas de túneles de viento: con un ángulo de ataque establecido y con velocidad constante del aire, se cotejan las fuerzas F_L y F_R actúan a través del esquema de ala, posteriormente se calculan con las ecuaciones (31) y (33) ambos coeficientes. A través de una curva C_L se representa lo obtenido, C_D , α como parámetro (Gráfica N.º 10). El perfil polar se denomina a esta curva.

El C_L y C_D en la gráfica N.º 11 se grafica en secciones en función del ángulo de ataque α .

Los perfiles para su designación tienen reglas las cuales van con unas siglas, a continuación, un carácter numérico, ejemplo NACA 4421. El perfil tiene una representación puntual en un gráfico, en el eje x indican el extradós en la parte superior, en el eje e indican el intradós parte inferior en relación a la cuerda del perfil. Se tienen gran cantidad de manuales que registran las coordenadas polares de los perfiles eólicos. En la gráfica N.º 12 las coordenadas se expresan en porcentaje de largo de cuerda.

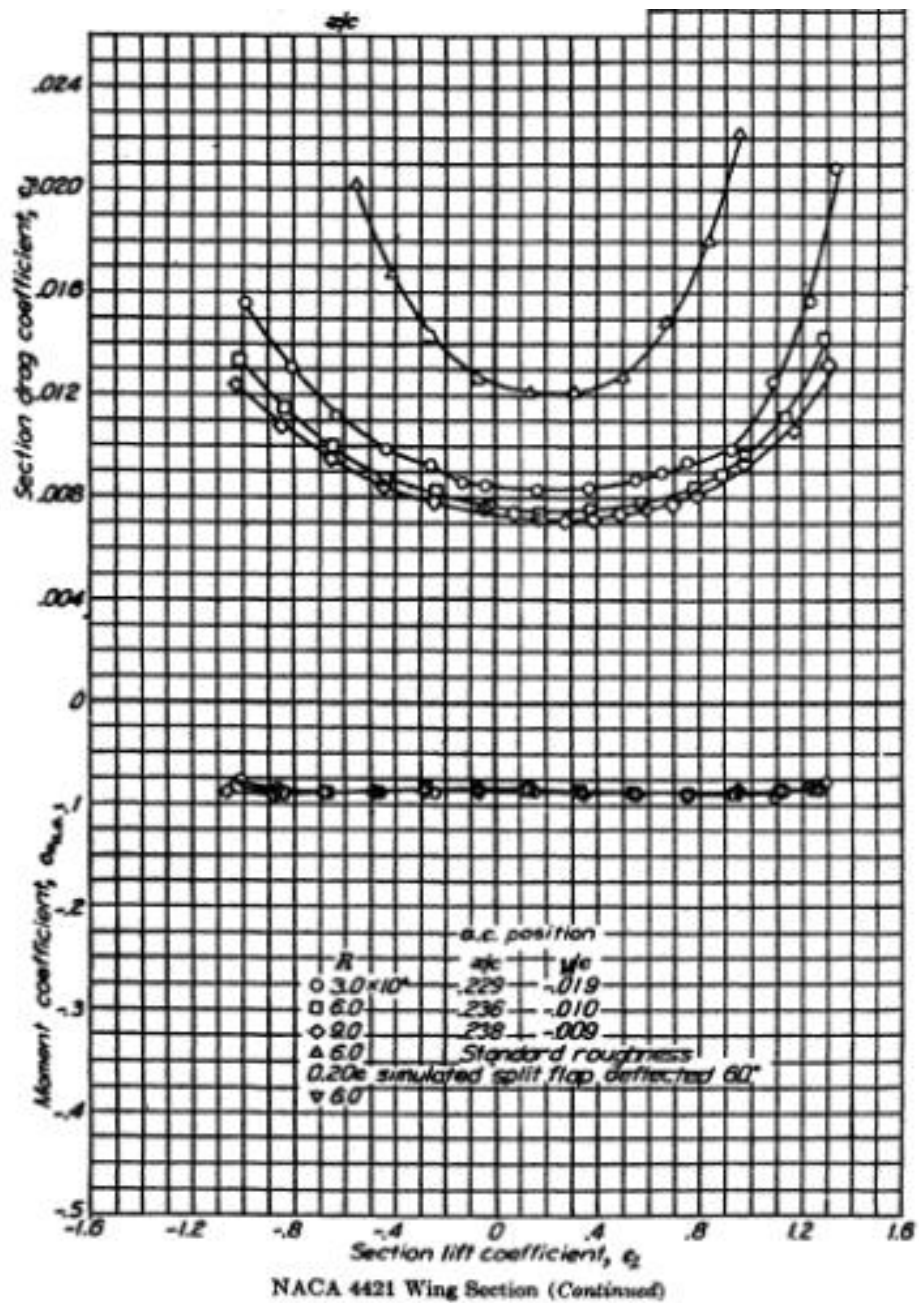
Como ejemplo grafico se ha seleccionado el perfil de forma aleatoria (NACA 4421)

Figura nro. 10: Coordenadas polares del perfil NACA 4421.



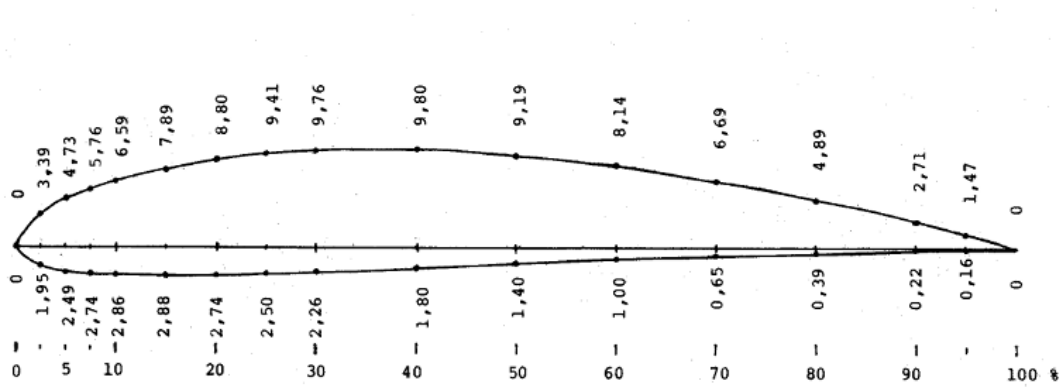
Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Figura nro. 11: La polar del perfil NACA 4421, con la fórmula de resistencia y sustentación y la atención en ejercicio del ángulo de ataque. El divisor ϵ es nombrado "atención" del perfil. (CL/CD).



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Figura nro. 12: Coordenadas del perfil NACA 4421.



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Expresiones para calcular el C_P Max: Teniendo en consideración el coeficiente de Betz y giro de la estela, se expresa el coeficiente de potencia teórico (analítico-empírico) alcanzable.

$$C_P = \frac{16}{27} * e^{-0.35\lambda^{-1.29}} \dots\dots\dots (32)$$

Reducción por efecto de oposición de la pala ($\frac{C_d}{C_l}$) es:

$$d(C_P) = \frac{16}{27} * \frac{C_d}{C_l} * \lambda \dots\dots\dots (33)$$

λ = Celeridad en el borde del bosquejo

Por lo tanto

$$(C_P)_{\frac{C_d}{C_t}} = C_P - d(C_P) = \frac{16}{27} * e^{-0.35\lambda^{-1.29}} - \frac{16}{27} * \frac{C_d}{C_l} \lambda \dots\dots\dots (34)$$

Se observa un déficit en la parte superior, esto se debe al número limitado de palas y se consigue aumentando $(C_P)_{\frac{C_d}{C_t}}$ por el divisor:

$$\eta_B = \left[1 - \frac{1.386}{B} * \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right]^2 \dots\dots\dots (35)$$

Siendo ϕ el ángulo de flujo u B el número de palas:

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \dots\dots\dots (36)$$

Para la punta $\lambda_r = \lambda$, entonces:

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (37)$$

$$\text{Así el } C_{P\text{Max}} = \eta_B \left[(C_P) \frac{C_d}{C_t} \right] \dots\dots\dots (38)$$

$$C_{P\text{Max}} = \left[1 - \frac{1.386}{B} * \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right]^2 \left[\frac{16}{27} * (e^{-0.35\lambda^{-1.29}} - \frac{16}{27} * \frac{C_d}{C_l} \lambda) \right] \dots\dots\dots (39)$$

Métodos de bosquejo de rotor de aeroturbinas: Se estipula:

Elección en celeridad de la turbina (λ_d)

Para aerobombas:

$$1 < \lambda_d \leq 2$$

Para aerogeneradores:

$$4 < \lambda_d \leq 10$$

Digito de alabes o palas (B)




Tabla nro. 2: Selección de alabes conforme a celeridad.

λ	1	2	3	4	5 – 8	8 – 15
B	6 a 20	4 a 12	3 a 6	3 a 5	2 a 4	1 a 2

Elaboración Propia

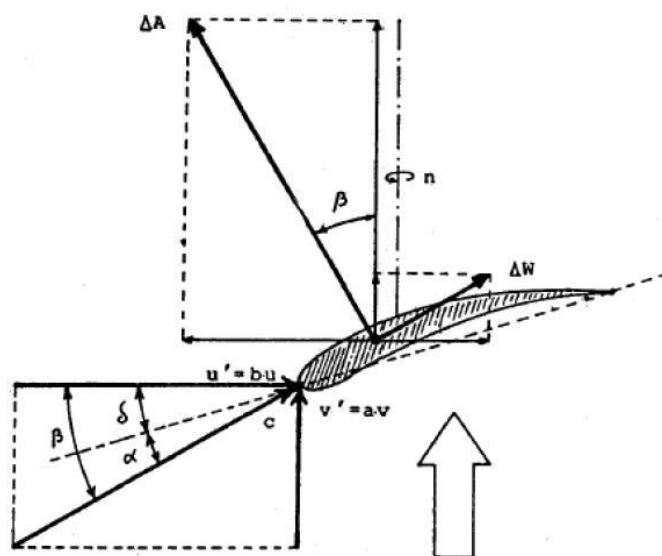
Selección del perfil del alabe

Tabla nro. 3 : Valores típicos del enlace entre sustentación y arrastre (C_D/C_L), de y C_L para un cifra de espacio de sustentación.

Modelo de placa	Silueta de placa	C_D/C_L	α	C_L
Placa llana		0.1	5 grados	0.8
Placa plegable (10% curvatura)		0.02	4 grados	1.25
Perfil NACA 4412		0.01	3 grados	0.8

Elaboración Propia

Figura nro. 13. Ángulos de cuerda.



Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

α : Ángulo de ataque

β : Ángulo de sección

ϕ : Ángulo de flujo

Cálculo de C_D y C_L

Para perfiles alares o aerodinámicos (NACA):

Escoger un ángulo de ataque para el flujo (ángulo α)

Calcular el N.º de Reynolds del flujo del aire:

$$Re = \frac{\rho * V * C_{\max}}{\mu} \dots\dots\dots (40)$$

Dónde:

V: promedio de velocidad

C_{\max} : máxima cuerda de pala

Examinar:

Seleccionar ángulo α , dando así inicio una sociedad C_D y C_L mínima, la energía de arrastre será pequeña.

El Re , α representaciones de laboratorio hallemos C_D y C_L con perfil seleccionado.

Tabla nro. 4: Valores de Reynolds.

Pliegue	Número de Reynolds: Re
A	$Re = 9 \times 10^6$
B	$Re = 6 \times 10^6$
C	$Re = 3 \times 10^6$
D	$Re = 1.64 \times 10^5$
E	$Re = 4.21 \times 10^4$

Elaboración Propia

Determinar el coeficiente de potencia C_P

Potencia de inicio: P

Lo adecuado se consigue $(C_P)_{\max}$; lo que se obtiene:

$$(C_P)_{\max} = \left[1 - \frac{1.386}{B} \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right]^2 * \left[\frac{16}{27} (e^{-0.35\lambda^{-1.29}} - \frac{C_D}{C_L} \lambda) \right] \dots\dots\dots (41)$$

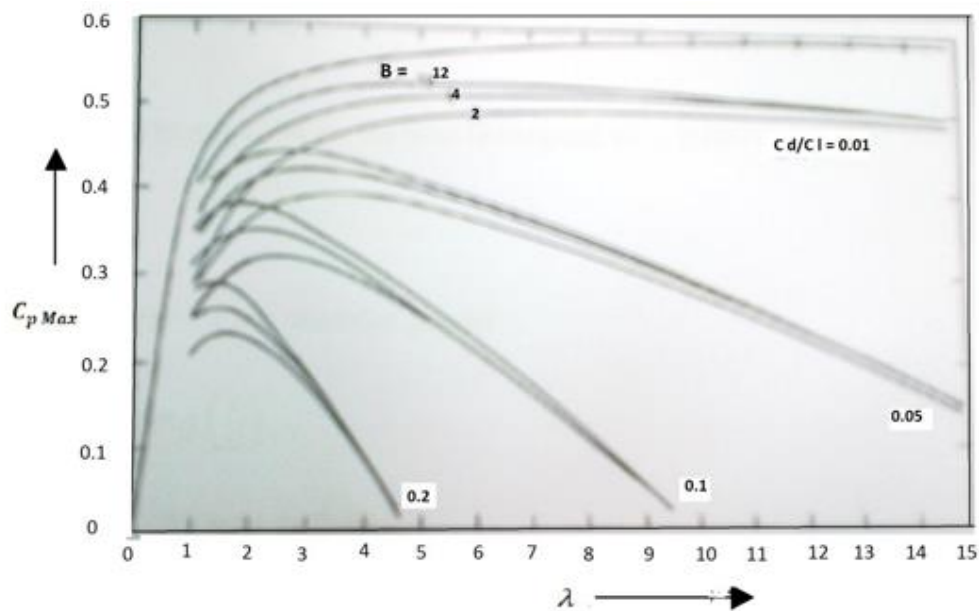
Dónde:

$$\phi = \frac{2}{3} \arctg\left(\frac{1}{\lambda}\right) \dots \dots \dots (42)$$

Verificación del CP, B, λ

De las gráficas experimentales tenemos:

Figura nro. 14: Autoridad del valor de alabes B y la relación CD/CL entre la fórmula de máxima fuerza permisible.



Fuente (Gamarra y Otros, 2011)

Con los datos verificados de λ y B, afirmamos que son similares, adjudicados con lugar N° 2.

Cuando fuesen datos aproximados, procede a adjudicar otros λ , B para poder alcanzar verificar con gráficos empíricos.

Determinar del radio R de la turbina:

R: Alabe longitud

La potencia P generalmente es un dato, como también ρ , \bar{V} :

$$R = \left[\frac{2P}{\eta_T * C_P * \rho * \pi * \bar{V}^3} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (43)$$

Dónde:

$$\eta_T = \eta_F * \eta_{tr}$$

η_F : Eficiencia por fluctuaciones del viento (± 0.7)

η_{tr} : Eficiencia por transmisiones y cojinetes:

Para aerobombas $\eta_{tr} = 0.7$

Para aerogeneradores $\eta_{tr} = 0.8$

Dimensiones y ángulos de sección de los alabes

Considerando que $C_L = Cte$. En toda la longitud del alabe:

$$\lambda_r = \lambda \frac{r}{R} \dots\dots\dots (44)$$

Dónde:

$\lambda_r = \text{Celeridad Parcial}$

$$\phi = \frac{2}{3} \arctg \left(\frac{1}{\lambda_r} \right) \dots\dots\dots (45)$$

Dónde:

$\phi = \text{Ángulo de flujo}$

$$C_r = \frac{8 * \pi * r}{B * C_L} (1 - \cos \phi) \dots\dots\dots (46)$$

Dónde:

C_r = cuerda

$$\beta = \phi - \alpha$$

Dónde:

β = Ángulo de sección

Determinar velocidad de rotación (Ω)

$$\text{Así: } \lambda = \frac{\Omega * R}{V} \dots\dots\dots (47)$$

$$\Omega = \frac{V * \lambda}{R} \left(\frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right) \dots\dots\dots (48)$$

Fuerza axial en el rotor $F_{\text{axial rotor}}$

$$F_{\text{axial rotor}} = F_L \cos \phi + F_D \sin \phi \dots\dots\dots (49)$$

Dónde:

ϕ = Ángulo de flujo

Poder axial total en el rotor $F_{\text{axial total}}$

$$F_{\text{axial total}} = z * F_{\text{axial rotor}} \dots\dots\dots (50)$$

Dónde:

Z = número de palas

Presión del viento sobre el rotor P_w

$$p_w = C_s * \frac{\rho}{2} * V^2 \dots\dots\dots (51)$$

Dónde:

C_S = coeficiente de fuerza axial

Para un $C_S = 1$, tenemos un motor en funcionamiento en condiciones normales, (Franquesa) estipula que se debe contar con un coeficiente de $C_S = 1.6$ por razones de seguridad.

Momento flexionante máximo M_{max} : concentra su fuerza máxima en el punto donde se fijan los alabes.

$$M_{max} = \frac{p_w * 2\pi * R^3}{3 * Z} \dots\dots\dots (52)$$

Cálculo de altura de torre (h)

$$M_{max} = F_{axial\ total} * h \dots\dots\dots (53)$$

Vibraciones: Nacen en el rotor en movimiento, representan una dificultad la cual deberá tenerse en consideración. Es complicado de esquivar, cuando el rotor se está fabricando se debe tener sumo cuidado.

Los orígenes de las vibraciones son múltiples:

Desequilibrios en estado de reposo y en movimiento del rotor, que llegan de fabricación.

Las diferentes fuerzas que ocasiona el viento provocan en los alabes cambios de vibraciones.

En los alabes hay aglomeración de agua congelada produciendo inestabilidad.

Es recomendable equilibrar el rotor, en estado de reposo como en movimiento, antes de su inicio de trabajo.

Dimensionamiento de cables

$$I_n = \frac{Pot(w)}{\sqrt{3} * \cos\phi * V} \dots\dots\dots (54)$$

$$I_D = I_n * 1.25 \dots\dots\dots (55)$$

Dónde:

I_D : Amperaje de diseño

Estudio económico

- Financiamiento inicial: Cuerpo del financiamiento inicial
- Tangibles: (activos)
- Intangibles
- Dinero de trabajo
- Otros

Calendario del financiamiento inicial:

Procedemos a conceptualizar el periodo del financiamiento, desembolso, un cronograma adecuado de financiamiento que conlleve a un mejor planeamiento.

Índice de la estimación económica:

VAN: (Valor neto actual)

$$VAN = -I_o + \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+t)^i} \dots\dots\dots (56)$$

TIR: (Tasa interna de retorno), conocido también como tasa de rentabilidad que entrega una inversión en otras palabras es la pérdida o ganancia que ofrece la inversión.

$$0 = -I_o + \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+t)^i} \dots\dots\dots (57)$$

B/C: (Coeficiente costo beneficio)

$$B/C = \frac{VAN}{I_o} \dots\dots\dots (58)$$

I_0 : Inversión total inicial

F_i : Valor futuro

t : Tasa de actualización

i = Número de años

Cambio en las cualidades del viento con respecto a la altura

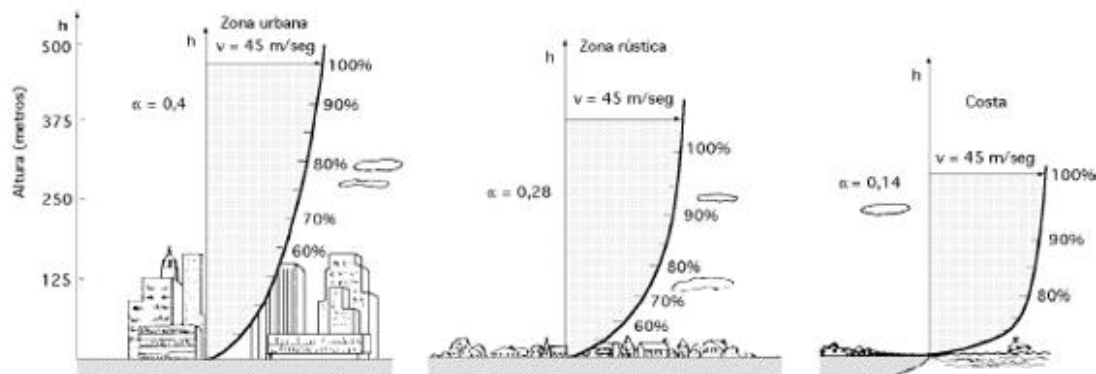
Por parte del roce de la masa del aire que corre por el terreno terrestre, la velocidad del aire se reduce en un carácter abrumador a una altura considerable, a esto se le conoce como gradiente de altura y oscila alrededor de dos mil metros hasta llegar a cero en el suelo.

Las fluctuaciones en velocidad del viento en la gradiente de altura son afectadas por la altitud y presión. Existen numerosas capas cada una regida por diferentes normas de flujo. Las capas de Ekman y la capa limite superficial son las más importantes en estudios para diseños de estructuras.

La capa limite superficial nace a partir del suelo y llega a una altura no mayor de cien metros.

Pliegues de la superficie: la velocidad del viento se reduce en las capas próximas al suelo, esto ocasiona unos cortes de viento. La gradiente de velocidad en función a la altura se ve influenciado por los pliegues de la superficie. Gradientes lentas se obtienen en superficies sin árboles, espacios de agua, por otra parte, las zonas urbanas, superficies irregulares. A continuación, se observa a través de la figura los distintos lugares de terrenos para la verticalidad del perfil para la velocidad del viento.

Figura nro. 15: Diferentes contornos perpendiculares de la velocidad del aire para diversas clases de pliegues de superficie.



Fuente (Martin Kaltschmitt, 2007)

Impacto del realce de la superficie: en la velocidad del viento incide directamente la superficie del lugar. En terrenos ya sean montañas, cañones, lomas van a generar una aceleración de velocidad, si dicho perfil es de modo, cuesta lenta esto conlleva al frenado.

Las colinas suaves, con cuevas desprovistas de muchos árboles y cimas ovaladas, son zonas con potencial ideales en bosques eólicos, estos puedan aprovechar el auge acelerador del terreno. En cañones y lomas contiguas a las playas con suaves pendientes.

La desaceleración de la velocidad del viento aguas debajo de la traba no solo depende de su tamaño y forma, sino también de la porosidad. Definimos porosidad, el lugar de sección colateral que otorga trabas al recorrido del viento, expresándose por porcentaje. Las consecuencias que dan las trabas en el viento se sintetizan a continuación.

Estos efectos pueden llegar a manifestarse aguas por debajo del estorbo, así de esta manera significativa, hasta una distancia de unas veinte veces la altura del mismo.

La aspereza de la superficie del terreno es de suma importancia. Lo es en terrenos de baja aspereza, los efectos de las trabas que continúan, aguas abajo, distanciados en lugares con alta aspereza.

El nivel para turbulencia en la zona posterior de los obstáculos porosos es menor que en el caso de obstáculos compactos.

Medidas y evaluaciones de impacto ambientales: Una prueba de impacto ambiental bien elaborada solo puede ser realizada una vez que se hayan obtenido los conocimientos de las especificaciones de los aerogeneradores y de la zona donde se realizara el proyecto.

1.4 Formulación del Problema

En las últimas décadas el aumento de los seres humanos y el desarrollo del hombre a nivel económico e industrial han llevado al aumento del consumo de energía eléctrica conllevando así al desenfrenado uso de combustibles fósiles para poder satisfacer la demanda, la energía eléctrica ha sido el impulsador del desarrollo de la industria en los últimos años. Esta energía eléctrica ha sido generada generalmente a través de la combustión de combustibles fósiles o de energía de hidroeléctricas, sabiendo que el agua se está agotando. A través de la explotación de combustible fósil como son el petróleo y sus derivados, los cuales se usan para la elaboración de energía eléctrica, estos combustibles en un periodo de tiempo se van a terminar, esto conllevaría al déficit del suministro de energía eléctrica para el consumo humano y para el consumo a nivel industrial.

El aumento del requerimiento de energía eléctrica en el país ha puesto en alerta a muchas de las autoridades del gobierno, han comenzado a interesarse en el tema, el gobierno ha empezado a invertir en la generación de energías alternativas limpias. Los estudios de dichas energías han comenzado a sentirse en nuestro litoral peruano presentándose muchos proyectos como la aerogeneración, claros ejemplos como: el de Marcona, Malabrigo, La brea y Talara, 450 Kw, 60 Mw, 170 Mw y 31 Mw respectivamente.

También se está construyendo el proyecto de la central eólica de Cupisnique en la ciudad de San Pedro de Lloc, la cual generara 80 Mw de potencia, mediante 45 aerogeneradores de una altura de 125 metros.

Como se sabe que el hombre está siempre en la investigación y a la vanguardia en la investigación energías reutilizables y que se lleven en armonía con la naturaleza, una de ellas es la energía eólica, en la cual se aprovecha las corrientes de aire que fluyen y recorren la superficie terrestre así se puede proveer energía eléctrica por medio de generadores eólicos.

La fuerza que proviene a partir de viento es de la clase renovable cuyos orígenes son las corrientes de aire, la manera de aprovechar esta energía es a través de la implementación y construcción de bosques eólicos, ya que nuestro país cuenta con una gran área de costas, las cuales pueden ser aprovechadas de dichos bosques eólicos.

Según el plano eólico de nuestro país, nuestra localidad La Libertad posee un gran potencial eólico, áreas como por ejemplo el litoral de la costa de la ciudad de Pacasmayo, son áreas que

no han sido explotados su potencial eólico, la cual es energía limpia. Destacamos la fuente de energía eólica del litoral de la ciudad de Pacasmayo - La Libertad, obteniendo información según el Ministerio de Energía y Minas (MIEM) con una medición anual a una altura de 80 metros en áreas de la costa de Pacasmayo la velocidad del viento fluctúa entre 6 a 7 m/s siendo así el área idónea para la construcción e implementación de un bosque eólico para poder obtener energía limpia.

El crecimiento del número de pobladores mediante el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) con censo en el 2007 estimo una población en la ciudad de Pacasmayo de 26118 habitantes distribuidos en la ciudad y en sus alrededores, es por ello el gasto de energía eléctrica para 2012 para Pacasmayo fue de 7838.2 Mwh, asumiendo como un problema de energía a largo plazo.

¿De qué manera podemos evaluar económicamente y técnicamente la implementación de un bosque eólico para las costas en Pacasmayo que abastecerá en consumo de fuerza eléctrica de 15 Mw?

1.5 Justificación del Estudio

1.5.1 Justificación

1.5.1.1 Justificación Tecnológica

Por la necesidad de invertir en tecnologías limpias y modernas para obtener energía eléctrica, ya que el viento en nuestras zonas de la costa es de un promedio de 9 m/s, este puede ser aprovechado de la mejor manera, pudiendo así asentar mejor las bases en la utilización de tecnologías no contaminantes.

Este proyecto se justifica porque se observa la necesidad de atender mayor demanda de energía eléctrica, ya que la ciudad de Pacasmayo, está en crecimiento en población y con la reciente apertura de un centro comercial el cual demandara un aumento en el consume de energía eléctrica, sabiendo que es limpia y renovable dicha energía y aprovechando que la velocidad del vientos en nuestras costa es de 9 m/s lo cual hace que sea ideales esta situación para la generación de fuerza eólica.

1.5.1.2 Justificación Ambiental

La exploración de opciones novedosas para generar energías, apoyando con reducir la polución medio ambiental, haciendo uso de medios nativos que nos rodean, también debemos acortar el consumo de viejos comburentes, remediando la solicitud para la sociedad con ayuda de fuerzas verdes, se quiere buscar la disminución de los gases que provocan el calentamiento global, se pone a puesta un estudio en energía renovable.

1.6 Hipótesis

Sí es realizable, técnica y económicamente, la construcción de un bosque eólico generador de 15 Mw que satisfaga la demanda eléctrica de la ciudad de Pacasmayo.

1.7 Objetivos

Objetivo General

Resolver la evaluación técnica y económica del montaje de un bosque eólico de 15 Mw en las costas de la ciudad de Pacasmayo-La Libertad.

Objetivos Específicos

- Evaluación de las condiciones ambientales eólicas en el litoral.
- Precisar el talento de potencia a entregar.
- Determinar la zona de ubicación del bosque eólico.
- Precisar el mensuramiento y elección de la turbina.
- Validar la capacidad eléctrica a entregar del bosque eólico.
- Evaluar valores de confianza de la torre.
- Evaluar la distribución del bosque eólico.
- Determinar los parámetros económicos del proyecto.

II. MÉTODO

II. MÉTODO

2.1. Diseño de Investigación

Diseño no experimental

De acuerdo a la técnica de contrastación: Pre experimental

2.2. Variables, Operacionalización

2.2.1 Variables

2.2.1.1 Variables Independientes

- Demanda de energía eléctrica.
- Parámetros del recurso eólico.

2.2.1.2 Variables Dependientes

- Especificaciones técnicas del aerogenerador.
- Potencia del Aerogenerador.
- Velocidad de Rotación.
- Diámetro del Turbina.
- Altura de la Torre.
- Parámetros de operación del bosque eólico.

Conceptualización de Incógnitas

Variables	Descripción Ideal	Descripción funcional	Señal	Escala de medida
Requerimiento para energía eléctrica	Ración de energía eléctrica (KWh) que la población demanda en un intervalo de tiempo	Incógnita alcanzada a través Hidrandina	Potencia	Cuantitativa
Datos de la fuente eólica	Velocidad del viento	Esta incógnita se medirá con anemómetro	Velocidad del viento	Cuantitativa
Potencia del Aerogenerador	Es la porción de fuerza eléctrica (KWh) que proporcionara el Aerogenerador	Esta variable es obtenida a través del cálculo realizado	Potencia	Cuantitativa

Velocidad de Rotación	Revoluciones por minuto del aerogenerador	Esta variable es obtenida a través del cálculo realizado	Rpm	Cuantitativa
Diámetro del Turbina	Dimensión de la Turbina Eólica	Esta variable es obtenida a través del cálculo realizado	[]	Cuantitativa
Altura de la Torre	Longitud de la torre	Esta variable es obtenida a través del cálculo realizado	Longitud	Cuantitativa
Parámetros de operación de funcionamiento del bosque eólico.	Dimensionamiento del área donde se instalará el bosque eólico.	Esta variable se medirá con el programa Excel	Área del terreno. Cantidad de aerogeneradores	Cuantitativa

2.3 Población y Muestra

Población: Bosques eólicos en el litoral marítimos del Perú.

Muestra: Bosques eólicos en el litoral marítimo de la Libertad.

Unidad de Análisis: Bosque eólico en el litoral marítimo de la ciudad de Pacasmayo.

Criterios de selección

Inclusión: Zonas costeras donde la velocidad del viento sea mayor a 5 a 6 m/s.

Exclusión: Zonas costeras donde la velocidad del viento sea menor a 2 m/s.

2.4 Métodos y herramientas para la obtención de información, validez y confiabilidad

Usaremos en la elaboración de la siguiente tesis, métodos y herramientas.

2.4.1. Técnicas

- Observación
- Análisis de Documentos
- Cálculo Eólico
- Cálculo Financiero

2.4.2. Instrumentos

- Tablas de Velocidad del Viento.
- Tablas de Temperatura.

- Tablas de Densidad del Aire.

2.5 Técnica de investigación de datos

- Observación, realizada desde un punto de vista técnica, sirvió para tener un punto de enfoque de la realidad problemática, sobre las velocidades del viento en dicha zona.
- El cálculo eólico, para establecer el diámetro del rotor, la potencia de la turbina, el número de Reynolds, la potencia útil, la fuerza de acarreo, la fuerza de sustentación, fuerza resultante, etc.
- Se utilizó la distribución de Weibull como una técnica para estudiar las velocidades del viento, con este procedimiento podemos realizar la simulación de un rango amplio de distribuciones.
- El cálculo financiero, para la validación del proyecto, mediante las herramientas financieras como son el TIR y VAN.

III. RESULTADOS

III. RESULTADOS

3.1.1 Evaluación de las condiciones ambientales eólicas.

a) Velocidad del viento en las costas de la Provincia de Pacasmayo.

Basándonos en los cuadros estadísticos obtenidos y mostrados, la velocidad del viento que más frecuente es en las costas de Pacasmayo es de 20 km/h que transformamos a 5.56 m/s la cual se seleccionara para realizar todos los cálculos.

b) Velocidad del viento en las costas de la ciudad de Pacasmayo

Es fundamental y trascendental estimar el recurso eólico porque la mayor parte de las cuentas realizadas se sujetan estrechamente en la velocidad continua del viento en la zona señalada del estudio.

Protocolo en la continuidad de datos de velocidad del viento

Tabla nro. 5: Frecuencias de la velocidad del viento.

Velocidad	Mañana	Tarde	Noche
5	0	0	0
10	62	0	14
15	175	1	102
20	168	129	208
25	19	184	72
30	0	83	28
35	0	27	0

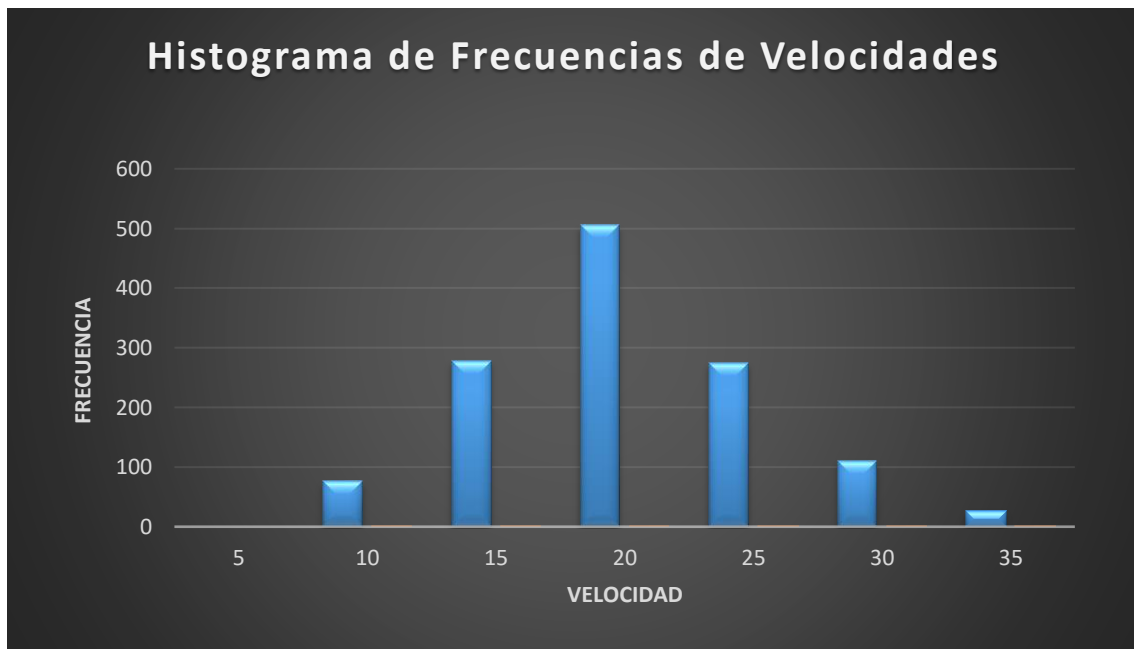
Elaboración Propia

Tabla nro. 6: Histograma de frecuencias.

Velocidad	ni	Ni	Fi	Fi
5	0	0	0	0
10	76	76	5.97%	5.97%
15	278	354	21.86%	27.83%
20	505	859	39.70%	67.53%
25	275	1134	21.62%	89.15%
30	111	1245	8.73%	97.88%
35	27	1272	2.12%	100.00%

Elaboración Propia

Tabla nro. 7: Histograma de Frecuencias.



Elaboración Propia

Con respecto a los cuadros estadísticos mostrados, la velocidad del viento en la ciudad de Pacasmayo que con mayor frecuencia se da es de 20km/h, la cual la convertimos y nos da una velocidad de 5.5556 m/s la cual se selecciona para realizar el cálculo con las respectivas formulas ya antes mencionadas.

3.2 Poder eólico utilizable

a) Velocidad del viento para perfil vertical

Los datos serán más reales cuando se recolectan a mayor altura la velocidad que golpea el buje, a mayor altura la velocidad del viento aumenta. Entonces, esto no es dable a menudo ya que para tomar datos del viento se colocan entre 51 y 62 metros de altura las estaciones meteorológicas. En este sentido se tienen dos datos, para tal caso se ingresa las velocidades del viento como referencia, la primera velocidad a 5 metros de altura a la superficie del suelo y la segunda ubicada a 90 metros de altura sobre la superficie del suelo.

A continuación, evaluamos a través del enunciado de la ley de Hellmann de potencia la velocidad del buje del aerogenerador:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha$$

Dónde:

V_2 : Velocidad del viento a nivel 2

V_1 : Velocidad del viento a nivel 1

h_2 : Altura a nivel 2

h_1 : Altura a nivel 1

α : Exponente de la ley de potencial para lugares llanos (costa, mar) $\alpha=0,16$

Datos

$V_1 = 5.56 \text{ m/s}$

$h_2 = 70 \text{ m}$

$h_1 = 5 \text{ m}$

$\alpha = 0.16$

$$V_2 = V_1 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha$$

$$V_2 = 5.56 \left(\frac{70}{5} \right)^{0.16}$$

$$V_2 = 8.4812 \text{ m/s}$$

b) Eficiencia del aerogenerador eólico

Poder máximo utilizable por el viento

$$P_{\max-\text{dispon}} = \frac{\rho * A * V^3}{2}$$

Dónde

V =velocidad promedio del aire

$P_{\max-\text{dispon}}$ =Potencia máxima disponible

ρ = Densidad del aire

A =Área disponible

Resolvemos

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Encontramos a través de tabla densidad media del aire (ρ_{aire})

Tabla nro. 8: Parámetros climáticos.

Parámetros Climatológicos de Pacasmayo													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura Máx. °C	29.7	30.4	30.5	29.2	27.3	25.4	24.4	24.6	24.4	25.1	26.1	28.1	27.1
Temperatura Promedio °C	24.1	24.8	25.1	23.6	22	20.5	19.5	19.7	19.5	19.8	20.6	22.2	21.8
Temperatura Mini. °C	18.5	19.3	19.7	18.1	16.7	15.6	14.6	14.8	14.7	14.6	15.2	16.9	16.6

Elaboración Propia

Calculamos la densidad para la temperatura media

Tabla nro. 9: Densidades del aire.

T °C	P
20	1.204
22	X
30	1.164

Elaboración Propia

$$\frac{22 - 20}{30 - 20} = \frac{x - 1.204}{1.164 - 1.204}$$

$$x = 1.196 \text{ kg/m}^3$$

Calculamos

$$P_{max-dispon} = \frac{\rho * A * V^3}{2}$$

$$P_{max-dispon} = \frac{1.196 * A * 8.4812^3}{2}$$

$$P_{max-dispon} = 364.8153A$$

El rotor descripción de Betz poder máximo utilizable

$$P_{util} = C_{p_{max}} * \frac{1}{2} * \rho * A * V^3$$

Dónde

$C_{p_{prom}}$: Dato promedio que se puede obtener = 0.48

$V = 8.829139 \text{ m/s}$

$$\rho = 1.196 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{util} = 0.48 * \frac{1}{2} * 1.196 * A * 8.4812^3$$

$$P_{util} = 175.1113A$$

Rendimiento del rotor

$$\eta_{rotor-eolico} = \frac{P_{util}}{P_{maxdispo}}$$

$$\eta_{rotor-eolico} = \frac{175.1113 A}{364.8153 A}$$

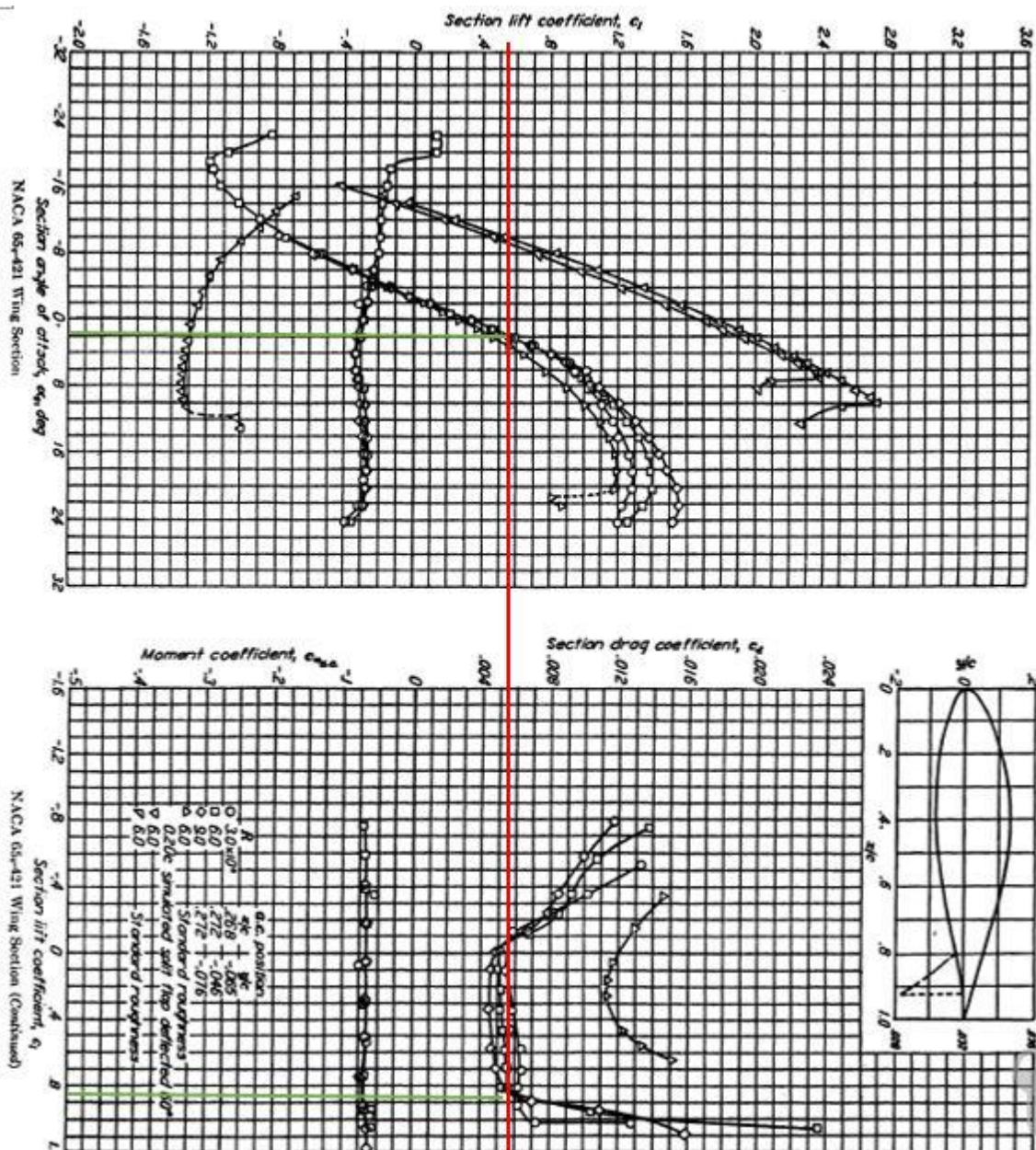
$$\eta_{rotor-eolico} = 0.4800$$

$$\eta_{rotor-eolico} = 48 \%$$

Selección del perfil naca

En la elección de la silueta se dibujó para cada curva de Reynolds una recta tangente en cada uno de los 14 perfiles NACA más usados en aerogeneradores según lo especifica el manual NACA y con respecto a cada uno de los frutos obtenidos, escogió al que correspondiera a una relación C_D/C_L menor. Los resultados nos dan los siguientes valores:

Figura nro. 16: Perfil Naca 65 - 421.



Fuente (ABBOTT y otros 1959)

Perfil Naca 65-421

Relación de arrastre $C_D = 0.005$

Relación de sustentación $C_L = 0.85$

Divisor $\frac{C_D}{C_L} = \frac{0.005}{0.85} = 0.00588$

Para un buen diseño se requiere un factor: $\frac{C_D}{C_L}$ mínimo

El perfil seleccionado:

NACA 65 – 421 tiene un factor $\frac{C_D}{C_L}$ mínimo = 0.00588

Se aprecia en la tabla 2 y 5 las que describen la selección del número de alavés o palas según la celeridad y el valor de Reynolds respectivamente para obtener los datos adecuados y proceder con los cálculos.

Con los datos asumidos calculamos el $C_{P_{MAX}}$

$$Re = 6 \times 10^6$$

$$\lambda = 4$$

$$B = 3$$

Calculamos el coeficiente de potencia máximo ($C_{P_{MAX}}$)

$$C_{P_{Max}} = \left[1 - \left(\frac{1.386}{B} \right) \left(\sin \frac{\phi}{2} \right) \right]^2 \left[\left(\frac{16}{27} \right) \left(e^{-0.35 * \lambda_d^{(-1.29)}} - \frac{C_D}{C_L} * \lambda_d \right) \right]$$

Antes de eso calculamos el ángulo de flujo

$$\phi = \left(\frac{2}{3} \right) \left(\tan^{-1} \frac{1}{\lambda_d} \right)$$

Calculamos el ángulo de flujo

$$\phi = \left(\frac{2}{3} \right) \left(\tan^{-1} \frac{1}{\lambda_d} \right)$$

$$\phi = \left(\frac{2}{3} \right) \left(\tan^{-1} \frac{1}{4} \right)$$

$$\phi = 9.357$$

Remplazamos ahora en la formula

$$C_{P_{Max}} = \left[1 - \left(\frac{1.386}{B} \right) \left(\sin \frac{\phi}{2} \right) \right]^2 \left[\left(\frac{16}{27} \right) \left(e^{-0.35 * \lambda_d^{(-1.29)}} - \frac{C_D}{C_L} * \lambda_d \right) \right]$$

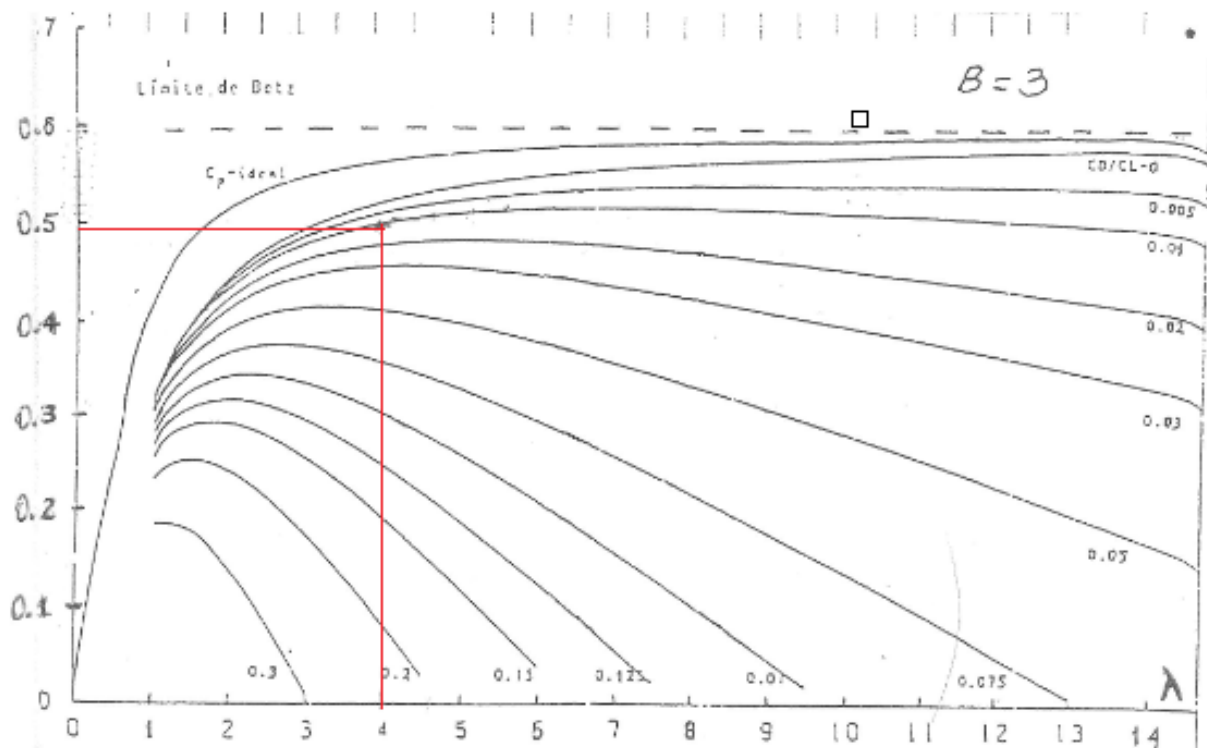
$$C_{P_{Max}} = \left[1 - \left(\frac{1.386}{3} \right) \left(\sin \frac{9.357}{2} \right) \right]^2 \left[\left(\frac{16}{27} \right) \left(e^{-0.35 * 4^{(-1.29)}} - \frac{0.005}{0.85} * 4 \right) \right]$$

$$C_{PMax} = 0.50466$$

Verificamos la celeridad y el C_{PMax} para eso nos guiamos de la siguiente tabla

De la gráfica nos podemos dar cuenta que para un $C_{PMax} = 0.48$ nos da una celeridad de 4 por ende no coincide con la celeridad seleccionada anteriormente. Para eso se hará un recalcu de las operaciones anteriores.

Figura nro. 17: C_{PMax} Para B entregado a diferentes CD/CL .



(ABBOTT, y otros, 1959)

$$Re = 6 \times 10^6$$

$$\lambda = 6$$

$$B = 3$$

Antes de eso calculamos el ángulo de flujo

$$\phi = \left(\frac{2}{3}\right) \left(\tan^{-1} \frac{1}{\lambda_d}\right)$$

$$\phi = \left(\frac{2}{3}\right) \left(\tan^{-1} \frac{1}{6}\right)$$

$$\phi = 6.308$$

Reemplazamos

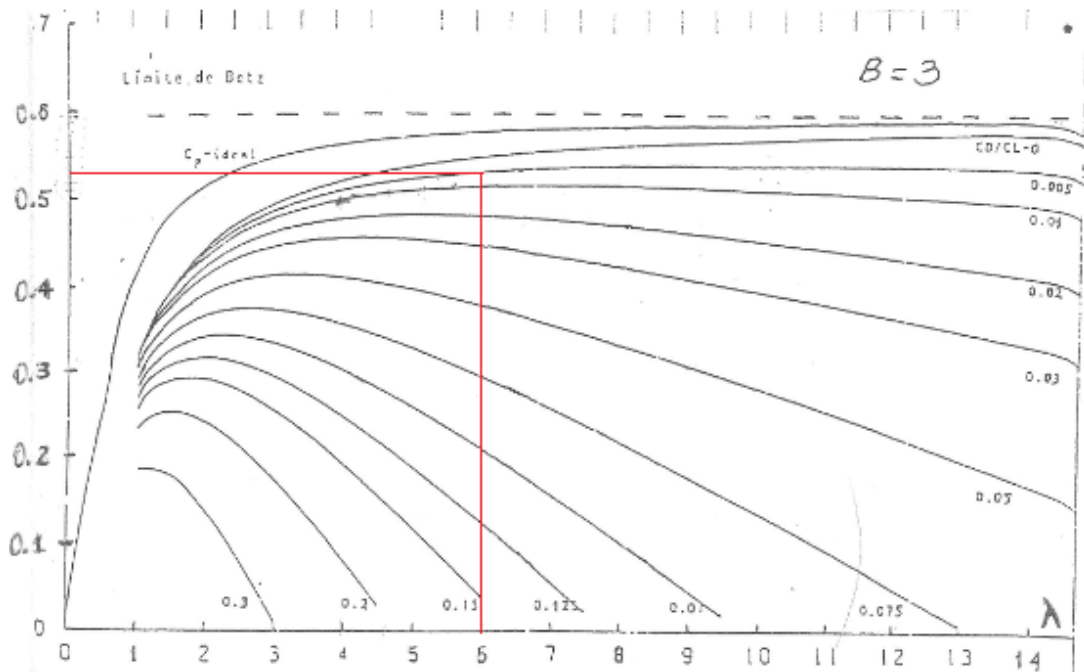
$$C_{PMax} = \left[1 - \left(\frac{1.386}{B} \right) \left(\sin \frac{\phi}{2} \right) \right]^2 \left[\left(\frac{16}{27} \right) \left(e^{-0.35 * \lambda_d^{(-1.29)}} - \frac{C_D}{C_L} * \lambda_d \right) \right]$$

$$C_{PMax} = \left[1 - \left(\frac{1.386}{3} \right) \left(\sin \frac{6.308}{2} \right) \right]^2 \left[\left(\frac{16}{27} \right) \left(e^{-0.35 * 6^{(-1.29)}} - \frac{0.005}{0.85} * 6 \right) \right]$$

$$C_{PMax} = 0.5101$$

Verificamos en tabla

Figura nro. 18: C_{PMax} Para B entregado a diferentes C_D/C_L .



(ABBOTT, y otros, 1959)

$$C_{PMax} = C_{PTabla}$$

Por lo tanto

$$\alpha = 2^\circ$$

$$\text{Factor M\u00ednimo } \frac{C_D}{C_L} = \frac{0.005}{0.85} = 0.00588$$

$$Re = 6 \times 10^6$$

$$\lambda_{DRecal} = 6$$

Calculamos el radio del aerogenerador

$$P_{Util} = C_{PMax} * \frac{1}{2} * \rho_{aire} * A * V^3$$

Despejamos el Radio

$$R = \left[\frac{2 * P_{Util}}{\eta_{Turbina} * C_{PMax} * \rho_{aire} * \pi * V^3} \right]^{1/2}$$

La ganancia de todo el bosque es igual al producto de las eficiencias de tabla, los elementos que la componen. Dichas eficiencias se plasman en tabla N° 1 de eficiencias típicos nombrados previamente conseguidos los siguientes datos.

Rendimiento de la turbina: $\eta_{Turbina} = \eta_F * \eta_{Tr}$

Dónde

η_F = Eficiencia por fluctuación del aire (± 0.7)

η_{Tr} = Eficiencia por cojinetes y transmisiones.

Para aerobomba: $\eta_{Tr} = 0.7$

Para aerogenerador: $\eta_F = 0.8$

$$\eta_{Turbina} = \eta_F * \eta_{Tr}$$

$$\eta_{Turbina} = 0.7 * 0.8$$

$$\eta_{Turbina} = 0.56$$

Rotor Radio

Para el poder dado total atribuimos una cantidad de aerogeneradores

$$P_{Turbina-Unitaria} = \frac{P_{Turbina-Total}}{N_{Turbina}}$$

$$P_{Turbina-Unitaria} = \frac{15 * 10^6 Watts}{32}$$

$$P_{Turbina-Unitaria} = 468750 Watts$$

$$P_{Turbina-Unitaria} = 468.750 Kw$$

$$R = \left[\frac{2 * P_{Util}}{\eta_{Turbina} * C_{PMax} * \rho_{aire} * \pi * V^3} \right]^{1/2}$$

$$R = \left[\frac{2 * 468750}{0.56 * 0.5101 * 1.196 * \pi * 8.4812^3} \right]^{1/2}$$

$$R = 37.8388 mts$$

Velocidad angular ω

$$\omega = \frac{\lambda * V_{Viento}}{R_{Turbina}}$$

$$\omega = \frac{6 * 8.4812}{37.8388}$$

$$\omega = 1.3448 \frac{rad}{s}$$

Cálculo de las RPM

$$RPM = \omega * \frac{60}{2\pi}$$

$$RPM = 1.3448 * \frac{60}{2\pi}$$

$$RPM = 12.8418$$

Calculamos la potencia real de la turbina

$$P_{Util} = C_{PMax} * \frac{1}{2} * \rho_{aire} * A * V^3$$

$$C_{PMax} = 0.5101$$

$$A = \pi * R^2$$

$$A = \pi * (37.8388)^2$$

$$A = 4498.0531 \text{ m}^2$$

$$V = 8.4812 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_{Util} = 0.5101 * \frac{1}{2} * 1.196 * 4498.0531 * 8.4812^3$$

$$P_{Util} = 837053.0816 \text{ watts}$$

$$P_{Util} = 837.0530816 \text{ kw}$$

3.3 Determinar La Zona De Ubicación Del Bosque Eólico

Área para establecer el bosque eólico

En Pacasmayo hay zonas donde aún no han sido urbanizadas, cabe mencionar la parte norte camino al distrito de Jequetepeque, donde existe un área de aproximadamente 4 km de costas, la cual se pretende plantear el desplegar el bosque eólico. Este bosque eólico se desarrollará en las aéreas costeras de la provincia de Pacasmayo y el distrito de Jequetepeque, ya que se encuentra ubicados próximos a las costas del mar y porque el mapa eólico de la Libertad da como información una media de la velocidad de viento óptimo y así producir por medio de aerogeneradores energía eléctrica, se puede escoger o tomar esta área como propicia para desarrollar el proyecto.

La provincia de Pacasmayo está ubicada geográficamente a 7° 25'40" sur 79° 30'13" oeste, a 0 msnm, se ubica aproximadamente a 1.3 kilómetros.

3.4 Determinación del mensuramiento, elección de Aerogenerador

Ángulo de sección de la pala, dimensionamiento

Tabla nro. 10: Datos del Alabe.

Datos del Alabe	
Radio	37.8428 m
Celeridad $\lambda_{Recalculada}$	6
Factor de sustentación C_L	0.85
Ángulo de Ataque α	2
N° de Palas	3

Elaboración Propia

Considerando que el $C_L = cte$, en toda la longitud de la pala.

$$\lambda_r = \lambda \frac{r}{R}$$

Dónde

$\lambda_r = \text{Celeridad Parcial}$

$$\phi = \frac{2}{3} \arctg\left(\frac{1}{\lambda_r}\right)$$

Dónde

$\phi = \text{Ángulo de flujo}$

$$C_r = \frac{8 * \pi * r}{B * C_L} (1 - \cos\phi)$$

$C_r = \text{cuerda}$

$$\beta = \phi - \alpha$$

$\beta = \text{Angulo de sección}$

El radio del rotor se hará elección, en base a consideración en el aspecto de diseño especificado por los que elaboran. Casi siempre el radio del alabe es 0.2 parte, desde ese margen la longitud de la cuerda comienza a disminuir coincidentemente. Posteriormente mostramos esta variable y sus valores en la tabla siguiente.

Tabla nro. 11: Magnitudes y Ángulos de Sección del Alabe.

Sección	R(m)	λ_D	ϕ	Grados	β (°)	C(m)
1	0.3784	0.0600	1.0072	57.7109	55.7109	1.7374
2	0.7569	0.12	0.9676	55.4382	53.4382	3.2278
3	1.1353	0.18	0.9285	53.1974	51.1974	4.4862
4	1.5137	0.24	0.8902	51.0028	49.0028	5.5308
5	1.8921	0.3	0.8529	48.8672	46.8672	6.3815
6	2.2706	0.36	0.8168	46.8007	44.8007	7.0596
7	2.6490	0.42	0.7821	44.8117	42.8117	7.5864
8	3.0274	0.48	0.7489	42.9060	40.9060	7.9826
9	3.4059	0.54	0.7171	41.0873	39.0873	8.2675
10	3.7843	0.6	0.6869	39.3575	37.3575	8.4590
11	4.1627	0.66	0.6583	37.7168	35.7168	8.5729
12	4.5411	0.72	0.6312	36.1641	34.1641	8.6234
13	4.9196	0.78	0.6056	34.6972	32.6972	8.6224
14	5.2980	0.84	0.5814	33.3132	31.3132	8.5802
15	5.6764	0.9	0.5587	32.0085	30.0085	8.5056
16	6.0548	0.96	0.5372	30.7794	28.7794	8.4058
17	6.4333	1.02	0.5170	29.6218	27.6218	8.2868
18	6.8117	1.08	0.4980	28.5316	26.5316	8.1534
19	7.1901	1.14	0.4800	27.5047	25.5047	8.0097
20	7.5686	1.2	0.4632	26.5370	24.5370	7.8590
21	7.9470	1.26	0.4472	25.6249	23.6249	7.7037
22	8.3254	1.32	0.4322	24.7645	22.7645	7.5460
23	8.7038	1.38	0.4180	23.9523	21.9523	7.3875
24	9.0823	1.44	0.4047	23.1852	21.1852	7.2295
25	9.4607	1.5	0.3920	22.4600	20.4600	7.0729
26	9.8391	1.56	0.3800	21.7739	19.7739	6.9187
27	10.2176	1.62	0.3687	21.1242	19.1242	6.7672
28	10.5960	1.68	0.3579	20.5085	18.5085	6.6190
29	4.0098	0.636	0.6697	38.3690	36.3690	8.5353
30	4.3882	0.696	0.6419	36.7809	34.7809	8.6098
31	4.7667	0.756	0.6157	35.2797	33.2797	8.6283
32	5.1451	0.816	0.5910	33.8626	31.8626	8.6016
33	5.5235	0.876	0.5677	32.5263	30.5263	8.5392
34	5.9020	0.936	0.5457	31.2672	29.2672	8.4487
35	6.2804	0.996	0.5250	30.0812	28.0812	8.3368
36	6.6588	1.056	0.5055	28.9642	26.9642	8.2087
37	7.0372	1.116	0.4872	27.9122	25.9122	8.0688
38	7.4157	1.176	0.4699	26.9211	24.9211	7.9205

39	7.7941	1.236	0.4536	25.9870	23.9870	7.7668
40	8.1725	1.296	0.4382	25.1061	23.1061	7.6099
41	8.5510	1.356	0.4237	24.2748	22.2748	7.4515
42	8.9294	1.416	0.4100	23.4899	21.4899	7.2932
43	9.3078	1.476	0.3970	22.7482	20.7482	7.1360
44	9.6862	1.536	0.3848	22.0466	20.0466	6.9807
45	10.0647	1.596	0.3732	21.3825	19.3825	6.8280
46	10.4431	1.656	0.3622	20.7533	18.7533	6.6784
47	10.8215	1.716	0.3518	20.1567	18.1567	6.5323
48	11.1999	1.776	0.3419	19.5904	17.5904	6.3899
49	11.5784	1.836	0.3325	19.0524	17.0524	6.2512
50	11.9568	1.896	0.3236	18.5409	16.5409	6.1166
51	12.3352	1.956	0.3151	18.0541	16.0541	5.9859
52	12.7137	2.016	0.3070	17.5904	15.5904	5.8591
53	13.0921	2.076	0.2993	17.1483	15.1483	5.7363
54	13.4705	2.136	0.2919	16.7265	14.7265	5.6174
55	13.8489	2.196	0.2849	16.3238	14.3238	5.5023
56	14.2274	2.256	0.2782	15.9388	13.9388	5.3908
57	14.6058	2.316	0.2718	15.5706	13.5706	5.2830
58	14.9842	2.376	0.2656	15.2181	13.2181	5.1787
59	15.3627	2.436	0.2597	14.8804	12.8804	5.0778
60	15.7411	2.496	0.2541	14.5566	12.5566	4.9802
61	16.1195	2.556	0.2486	14.2460	12.2460	4.8857
62	16.4979	2.616	0.2434	13.9478	11.9478	4.7943
63	16.8764	2.676	0.2384	13.6613	11.6613	4.7058
64	17.2548	2.736	0.2336	13.3859	11.3859	4.6201
65	17.6332	2.796	0.2290	13.1209	11.1209	4.5372
66	18.0117	2.856	0.2246	12.8658	10.8658	4.4568
67	18.3901	2.916	0.2203	12.6201	10.6201	4.3790
68	18.7685	2.976	0.2161	12.3832	10.3832	4.3036
69	19.1469	3.036	0.2121	12.1548	10.1548	4.2305
70	19.5254	3.096	0.2083	11.9344	9.9344	4.1596
71	19.9038	3.156	0.2046	11.7216	9.7216	4.0909
72	20.2822	3.216	0.2010	11.5160	9.5160	4.0242
73	20.6606	3.276	0.1975	11.3173	9.3173	3.9595
74	21.0391	3.336	0.1942	11.1252	9.1252	3.8967
75	21.4175	3.396	0.1909	10.9393	8.9393	3.8357
76	21.7959	3.456	0.1878	10.7593	8.7593	3.7765
77	22.1744	3.516	0.1847	10.5850	8.5850	3.7190
78	22.5528	3.576	0.1818	10.4162	8.4162	3.6630
79	22.9312	3.636	0.1789	10.2525	8.2525	3.6087
80	23.3096	3.696	0.1762	10.0937	8.0937	3.5558
81	23.6881	3.756	0.1735	9.9397	7.9397	3.5044
82	24.0665	3.816	0.1709	9.7902	7.7902	3.4543
83	24.4449	3.876	0.1683	9.6451	7.6451	3.4056
84	24.8234	3.936	0.1659	9.5041	7.5041	3.3582

85	25.2018	3.996	0.1635	9.3670	7.3670	3.3120
86	25.5802	4.056	0.1612	9.2338	7.2338	3.2670
87	25.9586	4.116	0.1589	9.1043	7.1043	3.2232
88	26.3371	4.176	0.1567	8.9783	6.9783	3.1805
89	26.7155	4.236	0.1546	8.8556	6.8556	3.1388
90	27.0939	4.296	0.1525	8.7362	6.7362	3.0982
91	27.4724	4.356	0.1504	8.6200	6.6200	3.0585
92	27.8508	4.416	0.1485	8.5067	6.5067	3.0199
93	28.2292	4.476	0.1465	8.3963	6.3963	2.9821
94	28.6076	4.536	0.1447	8.2887	6.2887	2.9453
95	28.9861	4.596	0.1428	8.1838	6.1838	2.9093
96	29.3645	4.656	0.1410	8.0815	6.0815	2.8742
97	29.7429	4.716	0.1393	7.9817	5.9817	2.8398
98	30.1214	4.776	0.1376	7.8842	5.8842	2.8063
99	30.4998	4.836	0.1359	7.7891	5.7891	2.7735
100	30.8782	4.896	0.1343	7.6962	5.6962	2.7414

(Elaboración Propia)

Tabla nro. 12: *Magnitudes Básicas del Perfil Naca 65-421.*

NACA 65-421			
Station and ordinates given in per cent of airfoil chord			
SUPERFICIE SUPERIOR		SUPERFICIE INFERIOR	
Station (X)	Ordinale (Y)	Station (X)	Ordinale (Y)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.247	1.601	0.75	-1.401
0.468	1.956	1.032	-1.676
0.933	2.493	1.567	-2.065
2.135	3.505	2.865	-2.761
4.582	5.085	5.417	-3.821
7.062	6.329	7.938	-4.633
9.557	7.371	10.443	-5.303
14.575	9.034	15.425	-6.342
19.616	10.304	20.384	-7.12
24.668	11.271	25.332	-7.691
29.729	11.976	30.271	-8.088
34.796	12.433	35.204	-8.313
39.865	12.64	40.135	-8.356
44.934	12.556	45.066	-8.1746
50	12.158	50	-7.746
55.059	11.467	54.941	-7.087
60.108	10.531	59.892	-6.247
65.145	9.419	64.855	-5.299
70.168	8.166	69.832	-4.278
75.176	6.811	74.824	-3.231
80.167	5.388	79.833	-2.204
85.143	3.94	84.857	-1.248
90.104	2.514	89.896	-0.446
95.051	1.176	94.949	0.088
100	0.00	100	0.00
L.E radius 2.50 Slope of radius through L.E: 0.168			

Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Tabla nro. 13: *Magnitudes Básicas del Perfil Naca 65-421.*

NACA 65-421			
ESPACIO ALTO		SUPERFICIE BAJO	
Station (X)	Ordinale (Y)	Station (X)	Ordinale (Y)
0.00	0.00	0.00	0.00
22.73	147.34	69.30	-128.94
43.07	180.01	94.98	-154.24
85.87	229.43	144.21	-190.05
196.49	322.57	263.67	-254.1
421.69	582.47	730.55	-351.65
649.93	582.47	730.55	-426.38
879.55	678.36	961.09	-488.04
1341.36	831.41	1419.59	-583.66
1805.29	948.29	1875.97	-655.26
2270.24	1037.29	2331.34	-707.82
2736.01	1102.17	2785.89	-744.35
3202.33	1144.23	3239.88	-765.06
3668.84	1163.28	3693.69	-769.02
4135.35	1155.55	4147.5	-752.45
4601.58	1118.92	4601.58	-712.88
5067.17	1055.33	5056.31	-652.23
5531.84	969.18	5511.96	-574.92
5995.4	866.85	5968.71	-487.68
6457.67	751.53	6426.75	-393.71
6918.57	626.83	6886.83	-297.35
7377.9	495.87	7347.16	-202.84
7835.85	362.6	7809.53	-114.86
8292.42	231.37	8273.27	-41.05
8747.7	108.23	8738.31	-8.1
9203.16	0.00	9203.16	0.00

Fuente (Manuel Franquesa Vosnechen 2009)

Comprobación Del Número De Reynolds

$$R_e = \frac{\rho_{aire} * V * C_{max}}{\mu}$$

Dónde

μ = viscosidad dinámica(pa * seg)

C_{max} = cuerda máxima del alabe (m)

V = velocidad del aire (m/s)

ρ_{aire} = densidad del aire(kg/m³)

Datos

$\mu = 1.82 * 10^{-5}$ (pa * seg)

$C_{max} = 8.6234$ (m)

$V = 8.4812$ (m/s)

$\rho_{aire} = 1.196$ (kg/m³)

$$R_e = \frac{\rho_{aire} * V * C_{max}}{\mu}$$
$$R_e = \frac{1.196 * 8.4812 * 8.6234}{1.82 \times 10^{-5}}$$

$$R_e = 4806131.262 = 4.8061 \times 10^6$$

Por ende, concluimos que el N° Reynolds asumido en tabla $R_e = 6 \times 10^6$ se aproxima al N° Reynolds calculado.

$$R_{e \text{ Asumido}} \approx R_{e \text{ Calculado}}$$

$$6 \times 10^6 \approx 4.8061 \times 10^6$$

Fuerza De Sustentación

$$F_L = C_L * \frac{\rho_{aire}}{2} * (C_{max} * R) * V^2$$

Dónde

C_{max} = Cuerda máxima del alabe (m)

R = Radio del alabe

$$F_L = 0.85 * \frac{1.196}{2} * (8.6234 * 37.8388) * 8.4812^2$$

$$F_L = 11930.2791 \text{ N}$$

Fuerza De Arrastre

$$F_D = C_D * \frac{\rho_{aire}}{2} * (h * R) * V^2$$

$h = \text{altura de la cuerda} = 21\% \text{ de la cuerda máxima}$

$R = \text{Radio del alabe}$

$$F_D = 0.005 * \frac{1.196}{2} * (1.8109 * 37.8388) * 8.4812^2$$

$$F_D = 14.7372 \text{ N}$$

Fuerza Resultante

$$F_R = \sqrt{(F_L)^2 + (F_D)^2}$$

$$F_R = \sqrt{(11930.2791)^2 + (14.7372)^2}$$

$$F_R = 11930.2882 \text{ N}$$

En el rotor poder axial $F_{axial-rotor}$

$$F_{axial-rotor} = F_L * \cos(\phi) + F_D * \sin(\phi)$$

$$F_{axial-rotor} = 11930.2791 * \cos(6.312) + 14.7372 * \sin(6.312)$$

$$F_{axial-rotor} = 11859.5774 \text{ N}$$

Poder en el rotor en movimiento con el número de palas dado por z

$$F_{axial-total} = z * F_{axial-rotor}$$

$$F_{axial-total} = 3 * 11859.5774$$

$$F_{axial-total} = 35578.7322 \text{ N}$$

Presión Del Viento

$$P_W = C_S * \frac{\rho_{aire}}{2} * V^2$$

El motor trabajando en parámetros naturales, asumimos trabajar en $C_S = 1$, para confianza es recomendable trabajar con un parámetro $C_S = 1.6$ (Franquesa, 2009)

$$P_W = 1.6 * \frac{1.196}{2} * 8.4812^2$$

$$P_W = 68.8233 \text{ Pa}$$

Momento flexionante M_{max}

$$M_{max} = \frac{P_W * 2\pi * R^3}{3 * z}$$

$$M_{max} = \frac{68.8233 * 2\pi * 37.8388^3}{3 * 3}$$

$$M_{max} = 2603064.423 \text{ N} * m$$

Altura de la torre resolución

$$M_{max} = F_{axial-total} * h$$

Despejando

$$h = \frac{M_{max}}{F_{axial-total}}$$

$$h = \frac{2603064.423}{35578.7322}$$

$$h = 73.1634 \text{ m}$$

Selección Del Aerogenerador

Tomando y albergando en consideración los cálculos obtenidos previamente se procederá a seleccionar, es conveniente elegir un aerogenerador que, cumpliendo las condiciones, extensiones determinadas con anterioridad, y tienen varias elecciones, se sabe que existen en el mundo diversidad de elaboradores de turbinas eólicas. Lo cual se optó por seleccionar un aerogenerador Gamesa (G-52 -850 KW), aerogenerador de una potencia de 850 KW, con una disponibilidad a la procreación eléctrica a 60 Hz, los datos técnicos del aerogenerador están anexos. (Ver Anexo)

3.5 Suficiencia de poder eléctrico a procrear por medio del bosque.

Tomando a consideración la cuenta que se ha hecho con anterioridad del poder útil de la turbina $P_{Util} = 837.0530816 \text{ kw}$ se logra determinar que el parque eólico estará constituido por 32 aerogeneradores repartidos de forma uniforme, de tal manera que podamos explotar adecuadamente el recurso eólico del lugar. Para validar la potencia eléctrica a generar, hará uso de un programa en Excel y así determinaremos la potencia eléctrica máxima, mínima y mensual producida por el bosque eólico. (Ver Anexo 11)

3.6 Validar Los Factores De Confianza De La Torre Eólica.

Durante El Montaje: La recolección de materiales se llevará a cabo en sentido contrario al de su utilización y se planeará para que cada componente que vaya a ser movilizado no sea estorbo de ningún otro elemento.

En la admisión en obra de los componentes, se llevará un control propio de peso en el componente, para usar transportadores para las cargas cuando sean necesarios, así no pasar los límites máximos que se permiten en los vehículos que las transporten.

El montaje de la torre eólica se conectará en zonas especificadas por el fabricante, así se hará el desplazamiento.

Para iniciar el izar de cualquier componente de la estructura, procedemos a asegurar que la estructura no se encuentre sujeta a ninguna otra pieza. Cuando la sección está asegurada, el riger que está a cargo de la maniobra, procede a retirarse una vez que la carga empiece a subir.

Para guiar componentes de gran tamaño se utilizan vientos o sogas guías. A los gueros se les imparte capacitaciones sobre los máximos pesos permitidos, no transportar los componentes suspendidos sobre los trabajadores, ascender los componentes de forma perpendicular esquivando subidas abruptas, etc.

Los componentes de gran tamaño se aumentarán las medidas de contención y de seguridad en el tiempo que se realice la operación, en el suceso de que el viento sea seguido o fuertes vendavales, evitando los accidentes en máquinas y operadores.

Los trabajos de instalación de componentes se finalizan en los días en que el clima sea adverso, cambio de velocidad abrupta del viento. Los componentes que conforman la estructura ya sea la apartamenta de alta tensión se proceden a sujetar a través del proceso de soldadura o a través

de pernos a la brevedad posible. No es aceptable dejar componentes con solo puntos de soldadura de forma temporal.

Se debe llevar un morral obligatorio para herramientas así se evitará la caída de ellas mismas durante el traslado y el desarrollo del trabajo en altura durante el montaje.

Los elementos que se utilizan para el movimiento de cargas suspendidas deben estar en óptimo estado, de no ser así se deben sustituir a la brevedad. Solo se deben utilizar eslingas que cuenten con certificación.

Los trabajadores que estén a cargo de operaciones de montaje llevarán consigo un arnés tipo paracaidista de seguridad y se anclará a algún punto fijo que brinde la construcción.

Peligros comunes en el proceso de armado:

- Peligros consecuentes por el manejo de implementos y componentes como son cortes, problemas en la columna.
- Caídas a nivel de piso (obstáculos, orden y limpieza del área de trabajo), trabajos en altura (caídas a desnivel).
- Caídas de elementos por descenso o hundimiento.
- Caída de objetos por manejo, desprendimientos.
- Peligros por atrapamiento o aplastamiento.
- Exposición a ruidos que pueden ocasionar sordera, fatiga.
- Riesgo eléctrico.
- Peligros por exposición a temperaturas por trabajos de soldadura. Las medidas de protección grupal son:
 - Mayas, cintas señalizadoras.
 - Llaves térmicas diferenciales.
 - Barandas en andamios, uso de arnés para trabajo que presenten o tengan peligro de caídas superiores a 1.80 metros.

Los equipos de protección personal básicos:

- Zapatos punta de acero o dieléctricos.
- Casco completo.
- Guantes de Cuero.
- Lentes.
- Uniforme.

- Arnés tipo paracaidista.
- Protectores auditivos.
- Respirador buco nasal.
- Protección para soldadores (careta de soldar, delantal, sobreguantes, escaupines, mangas).
- Arnés y líneas de vida.

3.7 Distribución Del Bosque Eólico

Con respecto al esquema de distribución del bosque eólico que es la representación gráfica de cómo van a ir situados los aerogeneradores uno distante del otro. En el anexo se presenta la distribución del bosque eólico que está conformado por 32 aerogeneradores. (Ver Anexo 12)

También se presenta el diagrama unifilar del Bosque eólico. (Ver Anexo 13)

- **Cálculo del Conductor Eléctrico**

Como dato del cálculo realizado anteriormente tenemos que cada turbina eólica tiene una potencia de 837053.0816 watts y se seleccionó un aerogenerador de 690 v. (ver Anexo 9)

$$I_n = \frac{Pot(W)}{\sqrt{3} * \cos\phi * V}$$

$$I_n = \frac{837053.0816}{\sqrt{3} * \cos(0.8) * 690}$$

$$I_n = 700.4636 \text{ Amp}$$

$$I_D = 700.4636 * 1.25 = 875.5795 \text{ Amp}$$

Como la potencia obtenida se debe utilizar tres cables, hemos dividido la corriente nominal del aerogenerador en 3.

$$I_n = \frac{875.5795}{3}$$

$$I_n = 291.8598 \text{ Amp}$$

El conductor que se colocará para el bosque eólico será bajo tierra, los cuales estarán a un costado de las vías de acceso, a distancias de 1.5 a 2.5 m.

Para realizar y hacer accesible la labor se usará una maquina denominada retroexcavadora, cuya función será hacer una zanja en el terreno, para que todos los conductores que se necesitan van bajo tierra. Luego de proceder de conexión con los conductores en la zanja se termine se pasa a tapar de forma libre

Tabla nro. 14: Selección del Conductor.

Calibre N° x mm ²	N° de Hilos	Espesores		Dimensiones		Peso (kg/km)	Capacidad de Corriente		
		Aislamiento Mm	Cubierta mm	Alto mm	Ancho mm		Enterrado A	Aire A	Entubado A
3 - 1x6	1	13	1.4	7.8	23.2	324	72	54	58
3 - 1x10	1	1	1.4	8.6	25.7	455	95	74	77
3 - 1x16	7	1	1.4	9.8	29.1	672	127	100	102
3 - 1x25	7	1.2	1.4	11.4	33.9	992	163	131	132
3 - 1x35	7	1.2	1.4	12.4	37.1	1298	195	161	157
3 - 1x50	19	1.4	1.4	14.1	42	1707	230	196	186
3 - 1x70	19	1.4	1.4	15.7	46.8	2339	282	250	222
3 - 1x95	19	1.6	1.5	18.2	54.3	3209	336	306	265
3 - 1x120	37	1.6	1.5	19.9	59.5	3975	382	356	301
3 - 1x150	37	1.8	1.6	21.7	64.9	4836	428	408	338
3 - 1x185	37	2	1.7	24.1	72	6027	483	470	367
3 - 1x240	37	2.2	1.8	27	80.8	7825	561	562	426
3 - 1x300	37	2.4	1.9	29.8	89.3	9736	632	646	480
3 - 1x400	61	2.6	2	33.2	99.4	12336	730	790	555
3 - 1x500	61	2.8	2.1	36.9	110.4	15590	823	895	567

(Indeco)

Temperatura de la superficie del suelo: 20°C

Temperatura del ambiente: 30°C

Temperatura en el cable: 80°C

Resistencia en el suelo: 1°K.m/W

Las cantidades obtenidas se realizan la elección de los conductores del tipo NYY 3-1x95

3.8 Determinar Los Parámetros Económicos Del Proyecto.

A continuación, se muestra un cuadro con los costos del Bosque eólico.

Tabla nro. 15: Idea de Inversión

Plan de Inversión							
				Precio Total (\$)		Inversión	
	Costo por Unidad	Número de Unidad Requerida	Medida de Costo	Estable	Variable	Importe Propio	Importe Banco
Financiamiento Inicial						20%	80%
Aerogeneradores	2,000,000.00	32		64,000,000.00		400,000.00	1,600,000.00
Obra Civil				538,928.25		538,928.25	
Movimiento de Tierras				69,560.24		34,780.12	34,780.12
Limpieza de terreno	0.2	10840	Metros cuadrados	2,493.20			
Excavaciones de hoyos en el terreno.	3.9	15480	Metros cúbicos	60,526.80			
Llenado con desechos de las excavaciones	1.21	5496	Metros cúbicos	6,540.24			
Cimentación				443,184.21		221,592.11	221,592.11
Hormigón HM-19	60.05	573.45	Metros cúbicos	33,976.91			
Hormigo para cimientos	62.4	5527.15	Metros cúbicos	398,507.52			
Hierro de Armado	0.69	610	Kilogramos	433.1			
Estructura Metálicas para zapatas	6	1515	Metros cuadrados	9,029.40			
Estructura para (Pedestal)	6	209	Metros cuadrados	1,237.28			
Otros				26,183.80		26,183.80	
Canalización de cables	493.54	30	Unidades	14,806.20			
Montaje de Virolas	355.55	32	Unidades	11,377.60			

Total				538,928.25			
--------------	--	--	--	-------------------	--	--	--

Viales y Plataformas				484,121.37		484,121.37	
Movimiento de Tierras				450,609.37		450,609.37	
Limpieza de terreno (Vías)	0.3	1870.36	Metros cuadrados	561.108			
Limpieza y perforación de área de trabajo (Plataforma)	0.3	29740	Metros cuadrados	8,922.00			
Limpieza y perforación de terreno (Vías)	3	55900	Metros cúbicos	167,700.00			
Perforación de área de trabajo (Plataforma)	3	28533.6	Metros cúbicos	85,600.80			
Inicio de zanjas (Viales)	2	30639.6	Metros cúbicos	61,279.20			
Formación de Terraplenes (Plataformas)	2	15433	Metros cúbicos	30,866.00			
Relleno, afirmado de vías	9	1870.36		16,833.24			
Relleno firme de Plataformas	8.92	1096		9,776.32			
Formación de Cunetas	1.19	5543.8		6,597.12			
Acondicionamiento vial existente	16.14	3870.73		62,473.58			
Drenajes				33,512.00		33,512.00	
Drenaje Transversales	250	32		8,000.00			

Tareas para recolección y evacuación de aguas	106.38	150		15,957.00			
Paso salva cuneta	273	35		9,555.00			
Total				484,121.37			

Zanjas				128,403.99		128,403.99	
Movimiento de Tierras				29,774.35		14,887.18	14,887.18
Limpieza de terreno (Área A)	0.3	2590	Metros cuadrados	777			
Limpieza de terreno (Área B)	0.3	900	Metros cuadrados	270			
Perforación de zanja para todo tipo de terreno (Área A)	6.94	2596	Metros cúbicos	18,016.24			
Excavación de zanja para todo tipo de terreno (Área B)	6.94	950	Metros cúbicos	6,593.00			
Relleno Material de excavación (Área A)	1.19	2570.6	Metros cúbicos	3,059.01			

Relleno Material de excavación (Área B)	1.19	890	Metros cúbicos	1,059.10			
Otros Seguridad en Obra				29,129.64		29,129.64	
Señalización de protección (Área A)	1.5	1596	Metro	2,394.00			
Señalización de protección (Área B)	1.5	500	Metro	750			
Conducto de Polietileno Diámetro=20 cm (Área A)	2.99	1596	Metro	4,772.04			
Conducto de Polietileno Diámetro=20 cm (Área B)	2.99	500	Metro	1,495.00			
Conducto de Polietileno Diámetro=9 cm (Área A)	1.6	1596	Metro	2,553.60			
Conducto de Polietileno Diámetro=9 cm (Área B)	1.6	500	Metro	800			
Pilón para Marca de excavación	7.5	100	unidades	750			
Caja de Conexión	694	20	unidades	13,880.00			

Extensión para pase de hoyo	347	5	unidades	1,735.00			
Otros				69,500.00		34,750.00	34,750.00
Preparación de lugar de acumulación de equipamiento de obra	12500	1	unidades	12,500.00			
Implementación, conservación y restitución de vías	32000	1	unidades	32,000.00			
Torreón Meteorológico	25000	1	unidades	25,000.00			
Total				128,403.99			

Soporte Eléctrico				128,112.50		128,112.50	
Conductores de Media Tensión				65,827.00		65,827.00	
Cable 12/20 Kv 3x400	31	299	Metro	9,269.00			
Cable 12/20 Kv 3x300	26	299	Metro	7,774.00			
Cable 12/20 Kv 3x240	22	330	Metro	7,260.00			
Cable 12/20 Kv 3x150	19	330	Metro	6,270.00			
Cable 12/20 Kv 95	17	330	Metro	5,610.00			
Cable 12/20 Kv 3x70	15	330	Metro	4,950.00			
Cable 12/20 Kv 3x35	13	330	Metro	4,290.00			
Cable 12/20 Kv 3x25	12	330	Metro	3,960.00			
Grupo Terminal M.T 12/20 3x400	207	6	Unidad	1,242.00			

Grupo Terminal M.T 12/20 3x300	200	6	Unidad	1,200.00			
Grupo Terminal M.T 12/20 3x240	193	6	Unidad	1,158.00			
Grupo Terminal M.T 12/20 3x150	187	6	Unidad	1,122.00			
Grupo Terminal M.T 12/20 3x95	180	6	Unidad	1,080.00			
Grupo Terminal M.T 12/20 3x70	173	6	Unidad	1,038.00			
Grupo Terminal M.T 12/20 3x35	169	6	Unidad	1,014.00			
Grupo Terminal M.T 12/20 3x25	165	6	Unidad	990			
Prueba para cables de tensión y aislamiento eléctrico	4600	1	Unidad	4,600.00			
Medición de cargas de contacto y paso	3000	1	Unidad	3,000.00			
Filamento Óptico				41,152.00		20,576.00	20,576.00
Cableado para propagación de señal	4	2568	Metro	10,272.00			
Conectorización filamento óptico	30880	1	Unidad	30,880.00			
Polo a Tierra				20,190.00		20,190.00	
Puesto a tierra de aerogeneradores	880	17	Metro	14,960.00			

Puesto a tierra de conexión al bosque	2	2615	Metro	5,230.00			
Otros				943.5		943.5	
Tubos de Polietileno de 5 cm	1.4	255	Metro	357			
Cables de tres hilos 220v	2.3	255	Metro	586.5			
Total				128,112.50			

Subestación de Transformación				4,855,069.00		4,855,069.00	
Suma de Traslado de Tierras	21755	1	metros cubicos	21,755.00			
Suma de Bases	1076878	1	unidades	1,076,878.00			
Suma de Esqueleto	840600	1	Metro	840,600.00			
Suma de Obra Civil	212170	1	metros cuadrados	212,170.00			
Suma de Pintura y Separación	104521	1	metros cuadrados	104,521.00			
Suma de conexiones eléctricas	2599145	1	Metro	2,599,145.00			
Total				4,855,069.00			

Instalación de Cadena Eléctrica	1099999	1	Prestación	1,099,999.00		549,999.50	549,999.50
---------------------------------	---------	---	------------	--------------	--	------------	------------

Suma de Financiamiento Inicial				71,234,634.12		8,036,671.83	2,476,584.90
Consumos Iniciales							
Licencia y Formalidad	110000	1	Global	110,000.00		110,000.00	

Suma de Consumos Iniciales				110,000.00		110,000.00	
Dinero de Inicio							

Costos de Producción		Porción			286,211.00	378,711.00	
Intervención y Manejo	286211	1	General		286,211.00	286,211.00	
Costos por empalme a la red	52500	1	General	52,500.00		52,500.00	
Energía desde la Red	40000	1	General	40,000.00		40,000.00	

Costos de edificación indirectos del Bosque					35,054.50	35,054.50	
Seguridad y Salud					17,780.44	8,890.22	8,890.22
Equipos de Protección Personal					8,677.88		
Cascos de Seguridad	3.05	40	unidades		122		
Gafas Oscuras	11.35	40	unidades		454		
Gafas Transparentes	2.6	30	unidades		78		
Caretas de Soldador	11.5	25	unidades		287.5		
Protectores Auditivos	5	45	unidades		225		

Respirador Buco nasal	2.96	28	unidades		82.88		
Filtros de Cambio de Respirador	0.8	50	unidades		40		
Uniforme de trabajo	15	35	unidades		525		
Traje para lluvia	8.3	35	unidades		290.5		
Cinta elástica	30	25	unidades		750		
Arnés tipo Paracaídas	80.5	20	unidades		1,610.00		
Morral Portaherramientas	20	30	unidades		600		
Delantal de soldador	14.7	10	unidades		147		
Par de mangas de soldador	10.73	10	unidades		107.3		
Par de escarpines de soldador	10.41	10	unidades		104.1		
Par de guantes de soldador	7.89	10	unidades		78.9		
Par Guantes de Cuero	2.21	40	unidades		88.4		
Par Guantes neopreno	2.52	10	unidades		25.2		
Par Guanteletes Aislantes	29.3	15	unidades		439.5		
Par Zapatos Agua	11.94	40	unidades		477.6		
Par Zapatos Seguridad	40	45	unidades		1,800.00		
Par Calzado Aislantes	23	15	unidades		345		
Defensas Colectivas					9,102.56		
Letreros y soporte	36.9	25	unidades		922.5		
Letrero con base para señal de riesgo	17.3	35	unidades		605.5		

Letrero indicativo de Riesgos	7.4	25	unidades		185		
Cinta de Seguridad	1.1	5500	Metro		6,050.00		
Señales Intermitentes	12	25	unidades		300		
Conos Reflectivos	21.18	40	unidades		847.2		
Topes para Camión y Soportes	16.03	12	unidades		192.36		

Instalaciones Provisionales de Obra					8,940.01	8,940.01	
Alquiler mes caseta Prefabricada oficina (6x2.35m)	129.22	9	Unidades		1,162.98		
Alquiler mes caseta Prefabricada vestuarios (8x2.35m)	132.51	9	Unidades		1,192.59		
Alquiler mes caseta Prefabricada aseo (3.25x1.90m)	92.06	9	Unidades		828.54		
Alquiler Caseta Prefabricada almacén(6x2.35m)	110.5	9	Unidades		994.5		
Traslado de Casetas	210	9	Unidades		1890		
Acometida eléctrica temporal	120	6	Unidades		720		
Acometida de agua temporal	100	6	Unidades		600		

Acometida de desagüe temporal	150	6	Unidades		900		
Bancos (5 personas)	20	5	Unidades		100		
Dispensador de Jabón	6	4	Unidades		24		
Porta Rollos	6.9	6	Unidades		41.4		
Colgadores de ropa	3	6	Unidades		18		
Depósito para residuos	9	10	Unidades		90		
Intercambiador eléctrico	76.5	4	Unidades		306		
Mueble de comedor	18	4	Unidades		72		
Equipo Sanitario					174.05	174.05	
Botiquín de Obra	51.95	1	Unidades		51.95		
Restituir botiquín	49.8	1	Unidades		49.8		
Camilla	17	1	Unidades		17		
Extintor de Polvo seco	55.3	1	Unidades		55.3		

Formación y Seguridad					8,160.00	8,160.00	
Comité de seguridad e Higiene	300	6			1,800.00		
Reconocimiento Medico	530	12			6,360.00		

Total Capital de Trabajo				92,500.00	347,642.12	549,929.78	
---------------------------------	--	--	--	------------------	-------------------	-------------------	--

Desembolso Indirecto para Intervención							
Desembolso Oficinista para Edificación del Bosque				23,000.00		23,000.00	
Ingeniero Mecánico	11500	1		11,500.00		11,500.00	
Ingeniero Civil	11500	1		11,500.00		11,500.00	

Desembolso Oficinistas				111,154.00		111,154.00	
Oficinista del Bosque (2 Técnico Operario)	23600	1		23,600.00		23,600.00	
Seguros	87554	1		87,554.00		87,554.00	87,554.00

Desembolso Global Indirecto para Intervención				134,154.00		134,154.00	
Total				71,571,288.12	347,642.12	8,830,755.61	2,476,584.90

Tabla nro. 16: Inversión de Activos del Bosque Eólico.

INVERSIONES EN ACTIVOS FIJOS EN LA INSTALACIÓN DE BOSQUE EÓLICO DE 15 MW				
	Denominación	Cantidad	Costo Unitario USA\$	Total USA\$
1	Aerogeneradores	32	\$2,000,000.00	\$64,000,000
2	Obras civiles	1	\$538,928.25	\$538,928.25
3	Vías y Plataformas	1	\$484,121.37	\$484,121.37
4	Zanjas	1	\$128,403.99	\$128,403.99
5	Soporte Eléctrico	1	\$128,112.50	\$128,112.50
6	Subestación	1	\$4,855,069.00	\$4,855,069.00
7	Instalación de Cadena Eléctrica	1	\$1,099,999.00	\$1,099,999.00
8	Licencias y Formalidad	1	\$110,000.00	\$110,000.00
9	Costos de Producción	1	\$378,711.00	\$378,711.00
10	Gastos indirectos de Operación	1	\$23,000.00	\$23,000.00
11	Formación y Seguridad	1	\$8,160.00	\$8,160.00
12	Costos de Edificación Indirectos del Bosque	1	\$35,054.50	\$35,054.50
13	Desembolso Oficinista	1	\$111,154.00	\$111,154.00
				\$71,900,714.23

Elaboración Propia

Beneficios		US\$/año
Venta de energía eléctrica anual		63,158,329.80
Total		63,158,329.80

A continuación, se presenta el movimiento de caja y los desenlaces de los indicadores financieros como son el VAN y el TIR

Tabla nro. 17: TIR y VAN del Bosque Eólico.

FLUJO DE FONDOS NETOS		
Cálculo de TIR y VAN		
Años	Movimiento de Fondos	Balance en el Periodo - Año
Gastos	-\$71,900,713.61	Costo Inicial del Proyecto
1	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
2	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
3	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
4	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
5	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
6	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
7	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
8	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
9	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
10	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
11	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
12	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
13	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
14	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
15	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
16	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
17	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
18	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
19	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
20	\$63,158,329.80	Beneficios Netos anuales
Total Ingresos	\$1,263,166,596	
Monto de Interés:	10%	
Tasa interna de retorno	88%	TIR
Valor actual neto	\$ 465,787,723.33	VAN

Elaboración Propia

IV. DISCUSIÓN

IV. DISCUSIÓN

Para el desarrollo de las ecuaciones se tomaron valores promedios, tales como: temperatura del aire de 22° C, la densidad del aire $1,196 \text{ kg/m}^3$, viscosidad dinámica $1.82 \times 10^{-5} \text{ pa} \cdot \text{seg}$.

La geometría de la pala y la altura de la torre son de naturaleza aerodinámica y dependen de forma directa de la velocidad del viento o del emplazamiento del mismo en la zona donde se localiza el bosque eólico tal como lo determino Gamarra y otros (2011) al realizar el análisis y el cálculo del radio, altura de la torre, revoluciones por minuto, de la turbina eólica, para este fin los frutos llegaron a inferir el conjetura de la potencia unitaria de la turbina eólica, luego proceder a escoger un aerogenerador que existe en el mercado.

Mientras de mayor tamaño sea la turbina eólica los rpm serán menores, se considera que un aerogenerador es más eficiente cuanto más rpm genere con la menor velocidad del aire posible, en este caso no siempre ya que puede también depender de la caja multiplicadora y del generador que se instale en la góndola, como también de la eficiencia de los diferentes componentes que integran la turbina eólica.

V. CONCLUSIONES

V. CONCLUSIONES

- Se pudo evaluar en el litoral de Pacasmayo la velocidad del viento haciendo uso del método de Frecuencias, dándonos los resultados de 5 m/s y de 8.4812 m/s para su silueta perpendicular de velocidades de aire.
- Se pudo evaluar una potencia eólica disponible de 837.0530816 KW por cada aerogenerador del bosque eólico de Pacasmayo.
- Se pudo evaluar la suficiencia de poder eléctrico que genera el bosque eólico para 365 días, llegaría a ser alrededor de 50 Gw.
- Se pudo evaluar el área donde se constituirá el bosque eólico, se localizara en la Provincia de Pacasmayo y parte del camino hacia el Distrito de Jequetepeque – La Libertad, situándose por sus coordenadas geográficas $7^{\circ} 25'40''$ sur $79^{\circ} 30'13''$ oeste, a 0 msnm, se ubica aproximadamente a 1,3 km de distancia de Pacasmayo.
- Se pudo evaluar la medición y elección del aerogenerador a través del procedimiento ordenado en la conjetura de turbinas eólicas dando como resultado para su radio 37.8388 metros, celeridad $\lambda = 6$, coeficiente de sustentación de $C_L = 0.85$, coeficiente de arrastre de $C_D = 0.005$ ángulo de ataque $\alpha = 2^{\circ}$, un número de palas $N = 3$, para la elección de aerogenerador fue un Gamesa G-52 -850 KW.
- Se logró evaluar los parámetros de confianza de la torre eólica, en la construcción de la torre eólica, en las cuales interviene el ordenamiento metálicas que conforman la estructura.
- Se pudo decretar el plano de distribución para el bosque eólico de Pacasmayo – La Libertad, además se llevó a cabo la cuenta y elección de los conductores eléctricos que irán de manera subterránea, se escogió NYY TRIPLE terna de cables (3 – 1x95) de la empresa INDECO.
- Se evaluó los parámetros económicos, con un VAN= UU\$ 465787723.33 y un TIR= 88%, llegando así a concluir que para plan del bosque eólico económicamente es rentable.

VI. RECOMENDACIONES

VI. RECOMENDACIONES

- Se debe continuar con la indagación de bosques eólicos, ya que menos contaminan el medio ambiente este tipo de fuerzas limpias, sabiendo también que nuestra región cuenta con zonas costeras donde aún no se explota el recurso eólico, es de conocimiento que en la tierra es menor la velocidad del viento que en la mar.
- Igualmente realizar estudios para la instalación de bosques eólicos dentro del mar para aprovechar las corrientes de aire que se engendran en el interior del mar.
- Se recomienda instalar aerogeneradores más pequeños entre las separaciones entre aerogeneradores con un previo estudio para aprovechar al máximo el recurso eólico.
- Se recomienda un estudio de investigación para el dimensionamiento y selección de los componentes eléctricos como son los transformadores, seccionadores, tablero de distribución y sus componentes, etc.
- Se recomienda una investigación del diseño interno de la estructura del alabe con el fin de mejorar sus propiedades físicas.
- También se puede realizar en trabajos futuros el cálculo y diseño de los componentes de transmisión, acoples, ejes. Los cuales no se consideraron en este estudio.

VII. REFERENCIAS

VII. REFERENCIAS.

Referencias

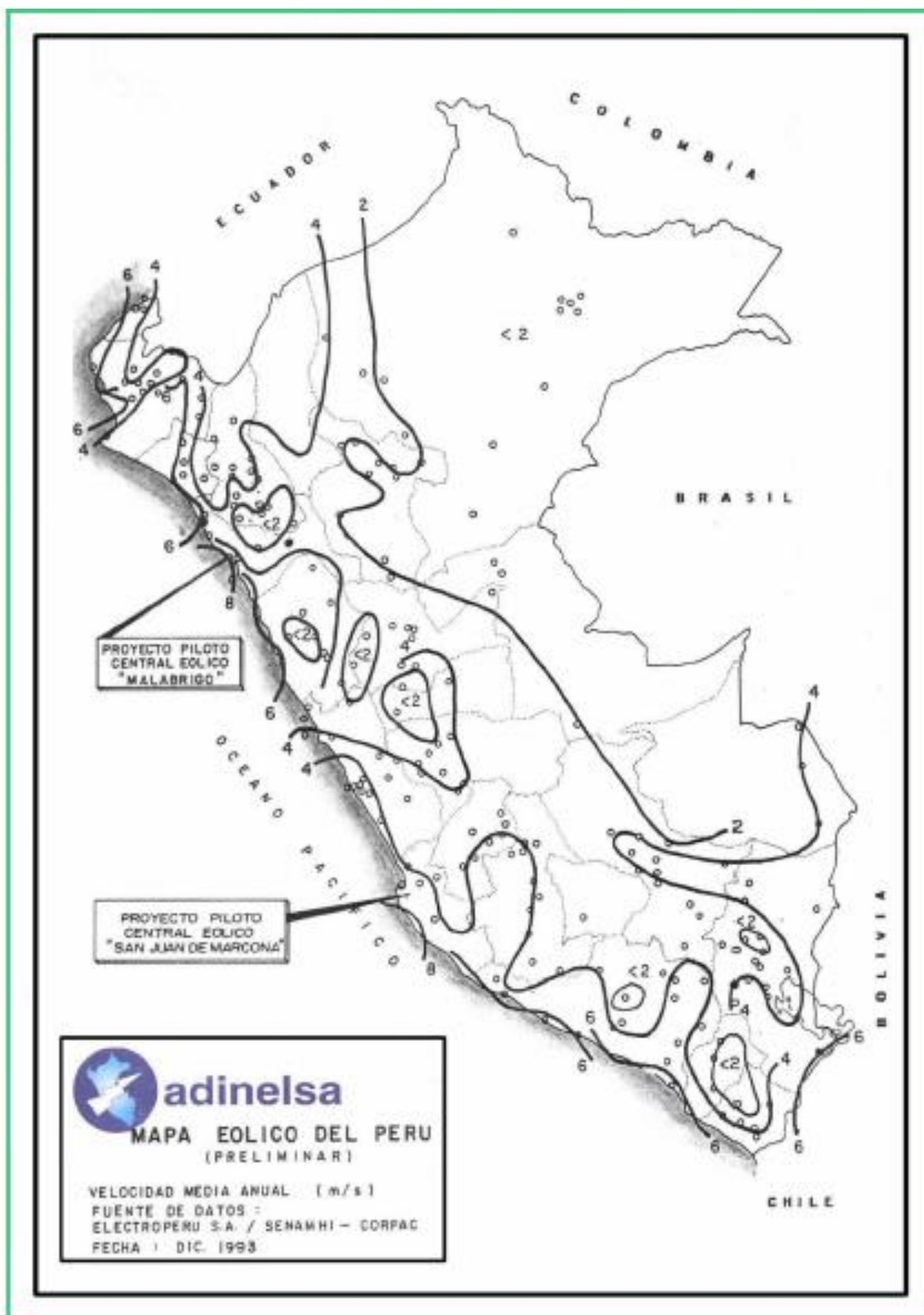
1. Osorio, Edmundo Augusto Gamarra y Lopez León, Luis Abel. *Factibilidad Técnico Económica de la instalación de un Parque Eólico de 10 Mw en el litoral de Huanchaco*. Trujillo : s.n., 2011.
2. Adinelsa. [En línea] [Citado el: sábado de noviembre de 2013.]
http://www.adinelsa.com.pe/files/Anexo_Nro_2.pdf.
3. Navarro, Emilio Mayorga. *Central eolica de Malabrigo*. 1996.
4. [En línea] [Citado el: Domingo de Noviembre de 2013.]
http://www.fing.edu.uy/imfia/rige/cur_pas/material/Cuba/Cap8.pdf.
5. La Veritat. [En línea] [Citado el: Domingo de Noviembre de 2013.]
http://www.amics21.com/laveritat/introduccion_teoria_turbinas_eolicas.pdf.
6. Delta Volt Energía Renovable. [En línea] [Citado el: Sábado de Noviembre de 2013.]
<http://deltavolt.pe/atlas/eolico/viento-departamento>.
7. La Aerogeneración Parece haber Levantado vuelo en el Argentina. *La Mañana del Sur*.
8. America Economia. [En línea] [Citado el: domingo de novienbre de 2013.]
<http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/argentina-inaugura-el-parque-eolico-mas-importante-de-latinoamerica>.
9. America Economia. [En línea] [Citado el: Lunes de Noviembre de 2013.]
<http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/gas-natural-construye-en-mexico-su-primer-parque-eolico-en-america-latina>.
10. La Veritat. [En línea] [Citado el: Domingo de Noviembre de 2013.]
http://www.amics21.com/laveritat/introduccion_teoria_turbinas_eolicas.pdf.
11. Minas, Ministerio de Energía y. *Atlas Eólico del Perú*. Lima : TEPERSAC, 2008.
12. Google Maps. *Google Maps*. [En línea] [Citado el: miércoles 28 de noviembre de 2013.]
<https://maps.google.com.pe/>.
13. Energía Renovables. [aut. libro] Ana Patricia Talayero Navales y Enrique Telmo Martínez. *Energía Eólica*. España : Servicios de Publicaciones- Universidad de Zaragoza, 2008.
14. ABBOTT, IRA H. y DOENHOFF, ALBERT E. VON. *THEORY OF WING SECTIONS* . NEW YORK : DOVER PUBLICATIONS, INC, 1959, 1959.
15. FRANQUESA, MANUEL. *INTRODUCCION A LA TEORIA DE LAS TURBINAS EOLICAS* . s.l. : MANUEL VONESCHEN, 2009.
16. Gamesa. *Catalogo de Productos*. España : s.n., 2015.

17. MAYORGA, EMILIO. *I CONGRESO SOBRE BIOCOMBUSTIBLES Y ENERGÍAS RENOVABLES*. LIMA : s.n., 2007.
18. ROMÁN, RAQUEL GÁLVEZ. *DISEÑO Y CÁLCULO PRELIMINAR DE LA TORRE DE UN AEROGENERADOR*. MADRID : DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍAS DE ESTRUCTURAS, , 2005.
19. PREVISIÓN DE OLAS Y REPORTE METEOROLÓGICOS. [En línea] http://es.surf-forecast.com/breaks/Pacasmayo/forecasts/latest/six_day.
20. VALLE, CARLOS CARCHENILLA. *PARQUE EÓLICO CASSINO*. BRASIL : s.n., 2013.

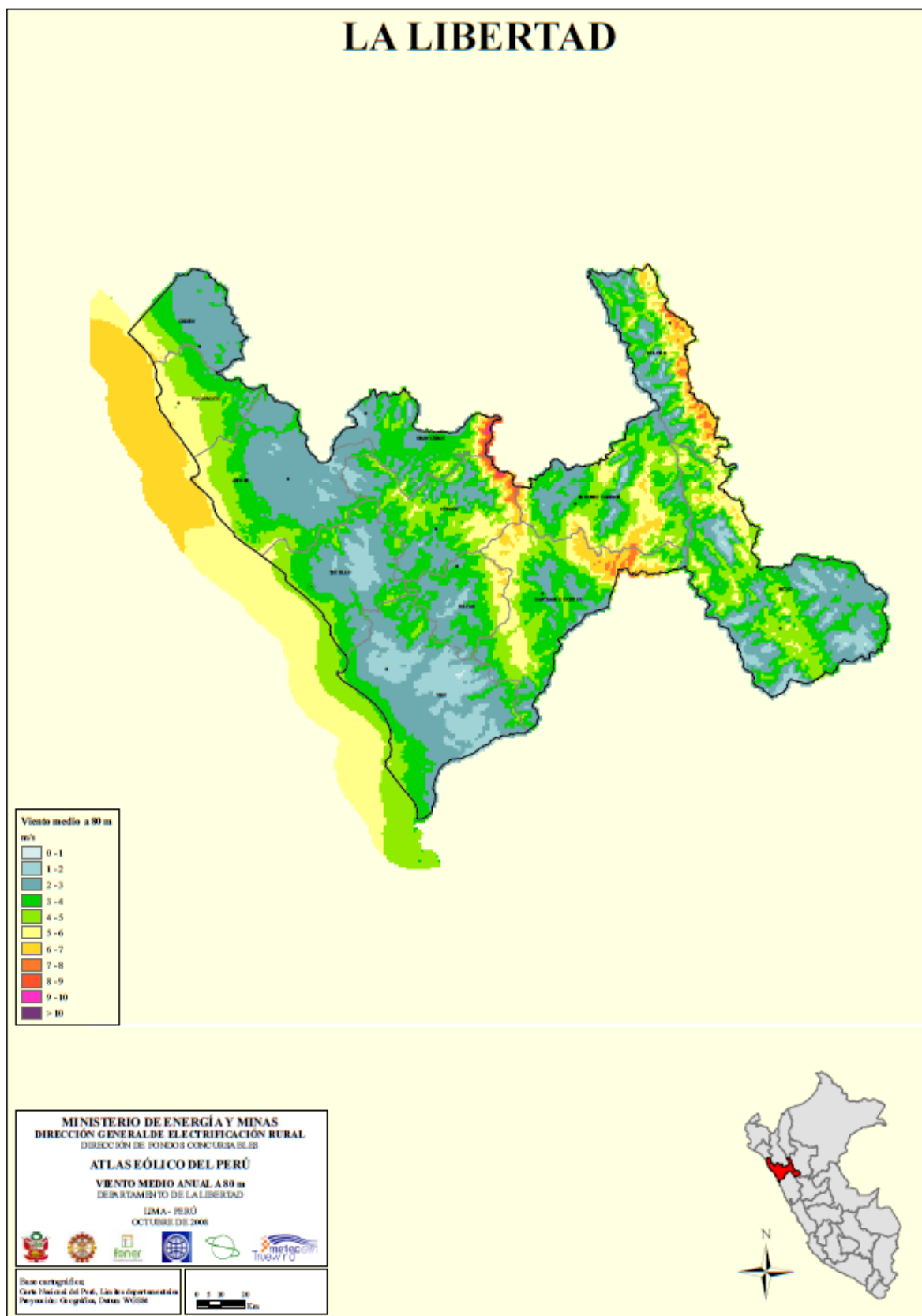
ANEXOS

ANEXOS

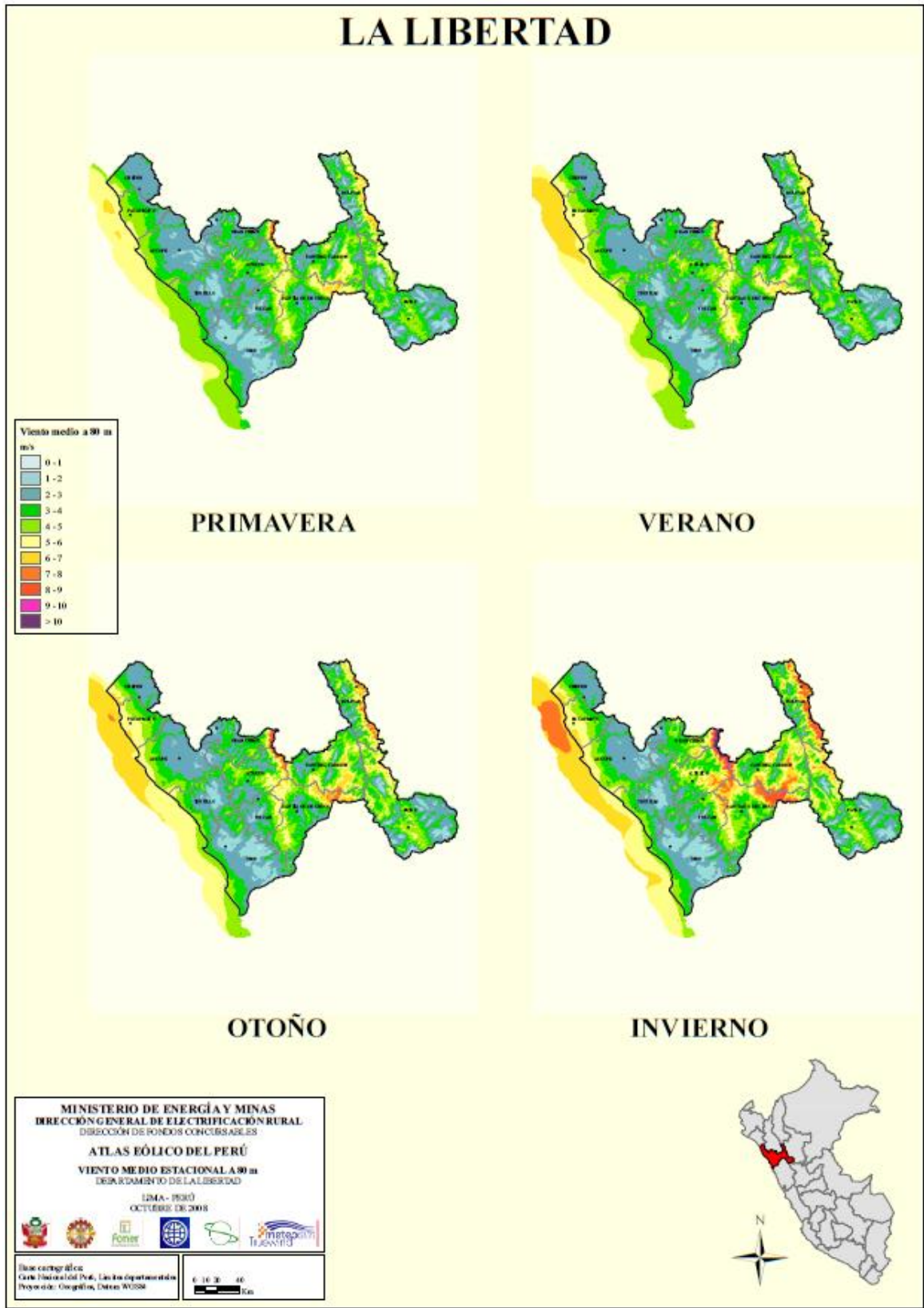
Anexo 1 Mapa Eólico del Perú Preliminar



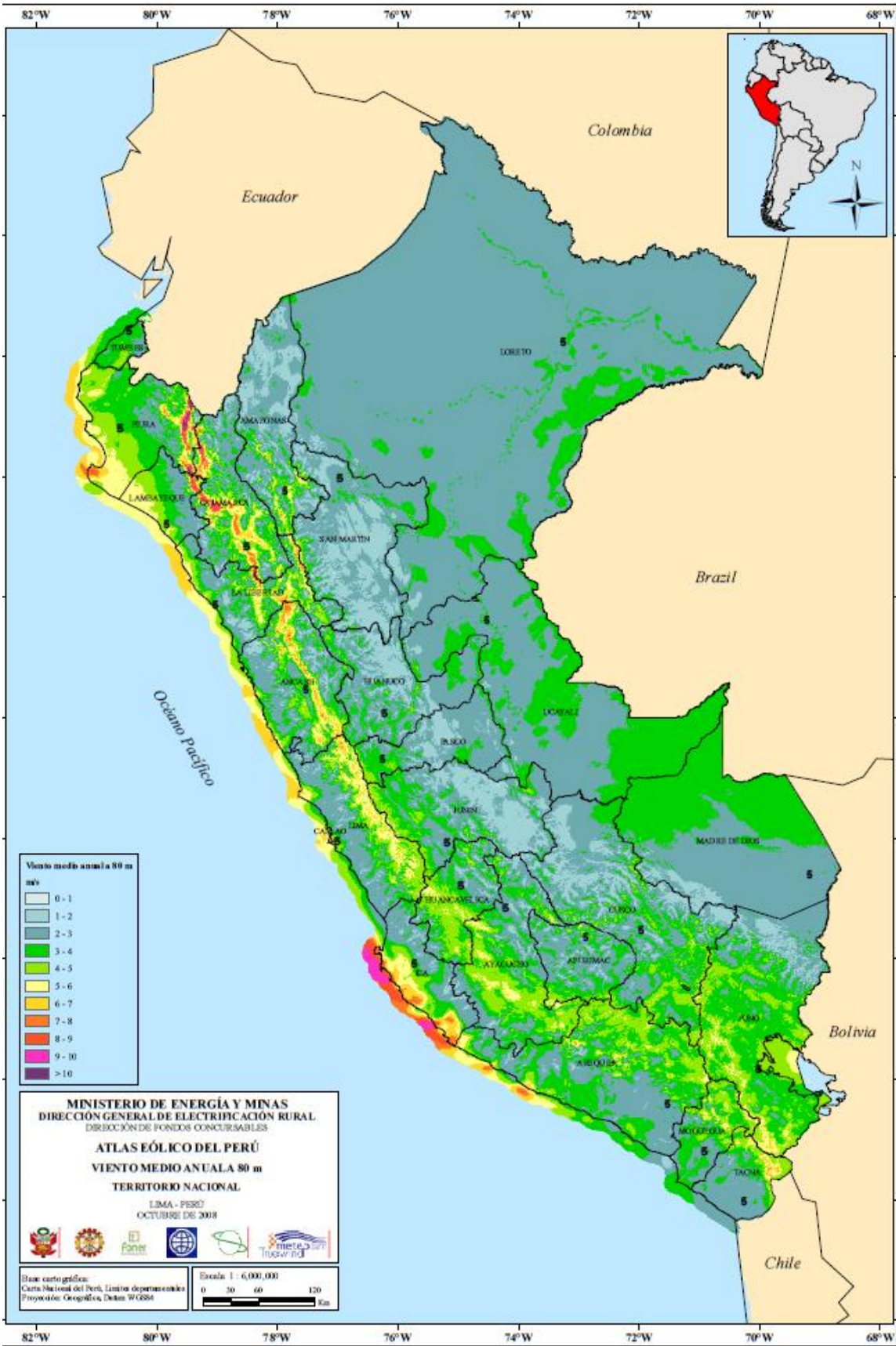
Anexo 2. Mapa Eólico de La Libertad-Perú. Ministerio de Energía y Minas



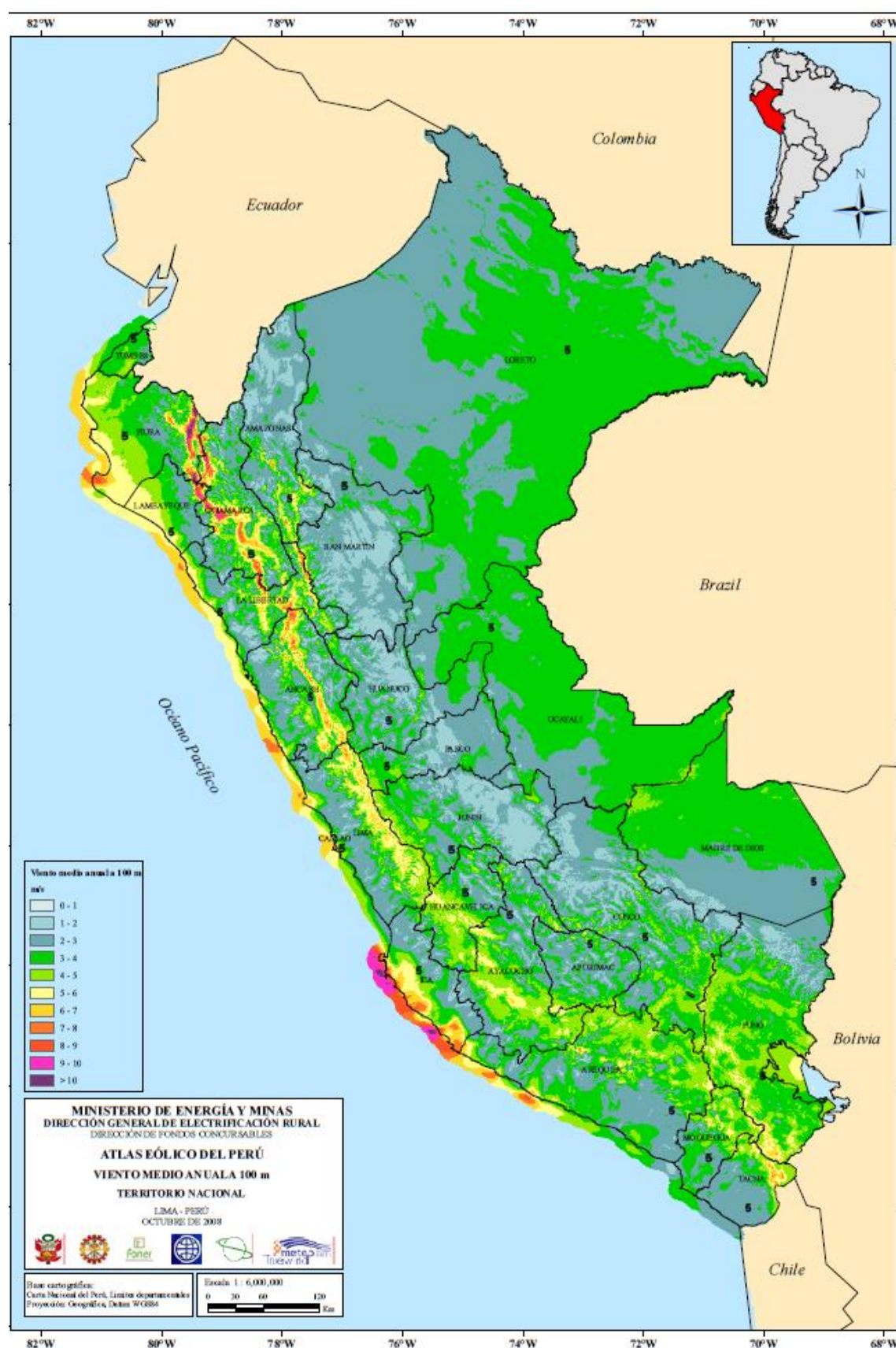
Anexo 3. Mapa Eólico de La Libertad-Perú en cada estación del año. Ministerio de Energía y Minas.



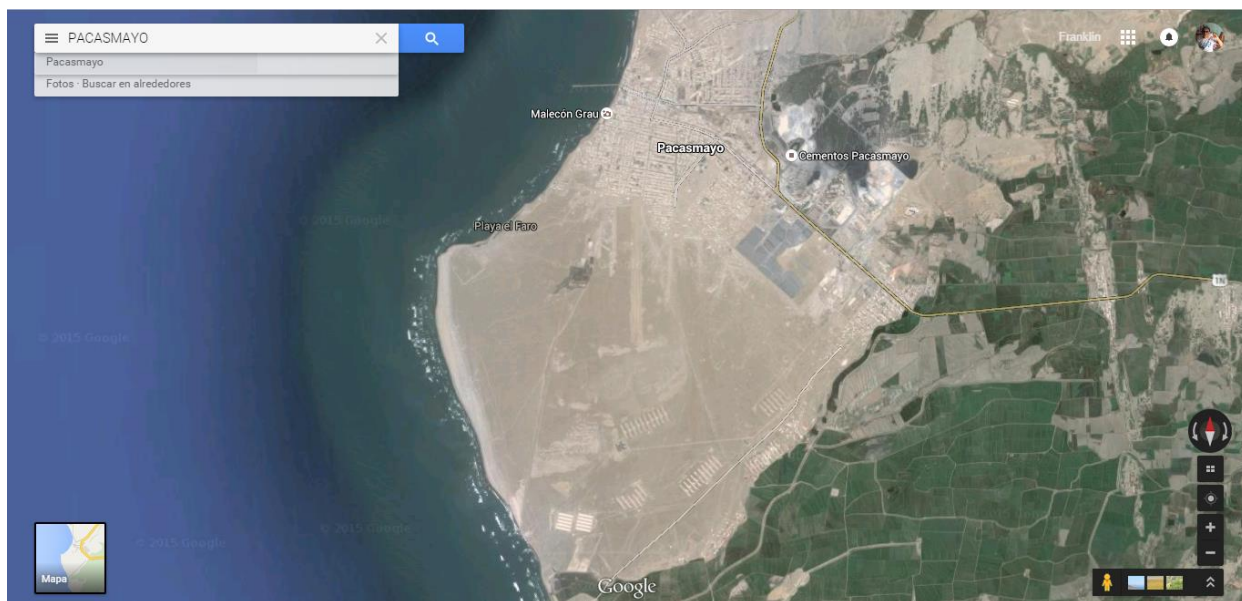
Anexo 4. Mapa eólico de Perú. Vientos anuales a 80 metros de altura. Ministerio de Energía y Minas.



Anexo 5. Mapa Eólico de Perú. Vientos anuales a 100 metros de altura. Ministerio de Energía y Minas.

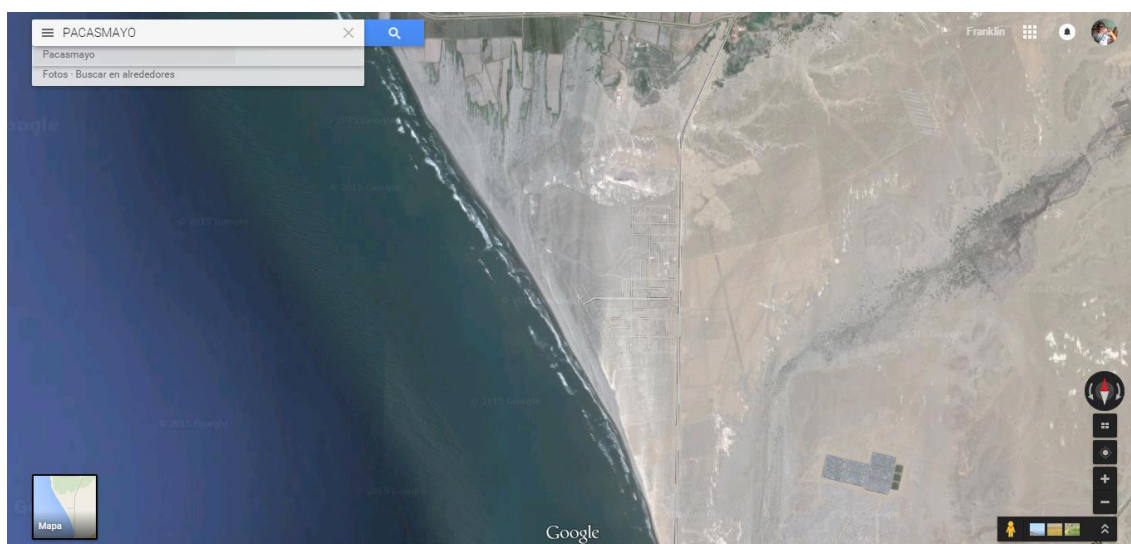


Anexo 6 Vista Satelital de la Provincia de Pacasmayo



Fuente: (Google earth – Data SIO, NOAA, U.S Navy, NGA, GEBCO, 2014)

Anexo 7 Área Donde se Desarrollará el Futuro Bosque Eólico



Fuente: (Google earth – Data SIO, NOAA, U.S Navy, NGA, GEBCO, 2014)

NYY DUPLEX / TRIPLE

Usos

Aplicación general como cable de energía. En redes de distribución en baja tensión, instalaciones industriales, en edificios y estaciones de maniobra. En instalaciones fijas, en ambientes interiores (en bandejas, canaletas, etc.), directamente enterrado en lugares secos y húmedos.

Descripción

Conductores de cobre electrolítico recocido, sólido o cableado (comprimido, compactado), aislamiento y cubierta individual de PVC. En la conformación duplex los dos conductores son trenzados entre sí. En la conformación triple, los tres conductores son ensamblados en forma paralela mediante una cinta de sujeción.

Características

Buenas propiedades eléctricas y mecánicas. La cubierta exterior de PVC le otorga una adecuada resistencia a los ácidos, grasas, aceites y a la abrasión. Facilita empalmes, derivaciones y terminaciones. Menor peso que los cables NYY convencionales y mejor disipación de calor permitiendo obtener una mayor intensidad de corriente admisible. Retardante a la llama.

Marcación

INDECO S.A. NYY (80°) 0.6/1 kV 3-1x<Sección> <Año> <Metrado Secuencial>

Calibre

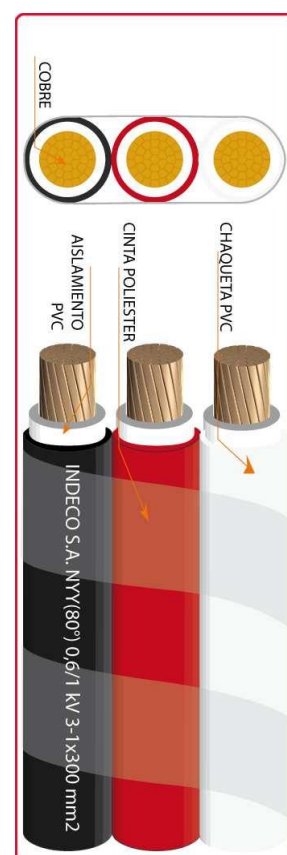
6 mm² – 500 mm²

Embalaje

En carretes de madera, en longitudes requeridas.

Colores

Aislamiento: Blanco
Cubierta: Duplex: Blanco, negro.
Triple: Blanco, negro, rojo.



Norma(s) de Fabricación
NTP-IEC 60502-1
Tensión de servicio
0.6/1 kV
Temperatura de operación
80 °C

TABLA DE DATOS TÉCNICOS NYY DUPLEX

CALIBRE	Nº HILOS	ESPEORES		DIÁMETRO EXTERIOR	PESO	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA			ENTERRADO	AIRE	DUCTO
Nº x mm ²		mm	mm	mm	(Kg/Km)	A	A	A
2x1x6	1	1	1.4	15.4	218	77	58	62
2x1x10	1	1	1.4	17	307	105	80	85
2x1x16	7	1	1.4	19.3	454	136	108	112
2x1x25	7	1.2	1.4	22.5	672	170	140	140
2x1x35	7	1.2	1.4	24.6	880	205	175	170

TABLA DE DATOS TÉCNICOS NYY TRIPLE

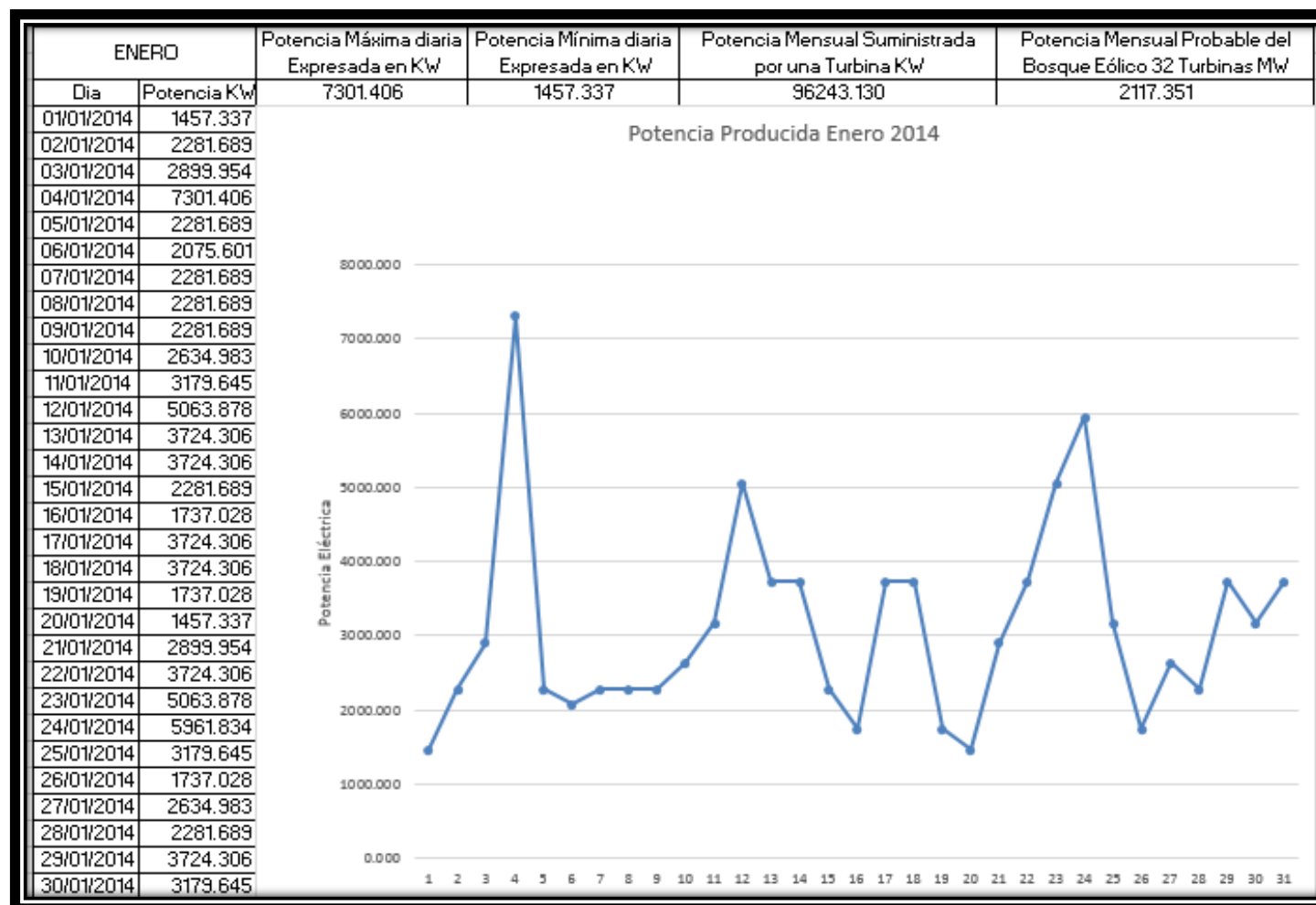
CALIBRE	Nº HILOS	ESPEORES		DIMENSIONES		PESO	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA	ALTO	ANCHO		ENTERRADO	AIRE	DUCTO
Nº x mm ²		mm	mm	mm	mm	(Kg/Km)	A	A	A
3 - 1 x 6	1	1	1.4	7.8	23.2	324	72	54	58
3 - 1 x 10	1	1	1.4	8.6	25.7	455	95	74	77
3 - 1 x 16	7	1	1.4	9.8	29.1	672	127	100	102
3 - 1 x 25	7	1.2	1.4	11.4	33.9	992	163	131	132
3 - 1 x 35	7	1.2	1.4	12.4	37.1	1298	195	161	157
3 - 1 x 50	19	1.4	1.4	14.1	42	1707	230	196	186
3 - 1 x 70	19	1.4	1.4	15.7	46.8	2339	282	250	222
3 - 1 x 95	19	1.6	1.5	18.2	54.3	3209	336	306	265
3 - 1 x 120	37	1.6	1.5	19.9	59.5	3975	382	356	301
3 - 1 x 150	37	1.8	1.6	21.7	64.9	4836	428	408	338
3 - 1 x 185	37	2	1.7	24.1	72	6027	483	470	367
3 - 1 x 240	37	2.2	1.8	27	80.8	7825	561	562	426
3 - 1 x 300	37	2.4	1.9	29.8	89.3	9736	632	646	480
3 - 1 x 400	61	2.6	2	33.2	99.4	12336	730	790	555
3 - 1 x 500	61	2.8	2.1	36.9	110.4	15590	823	895	567

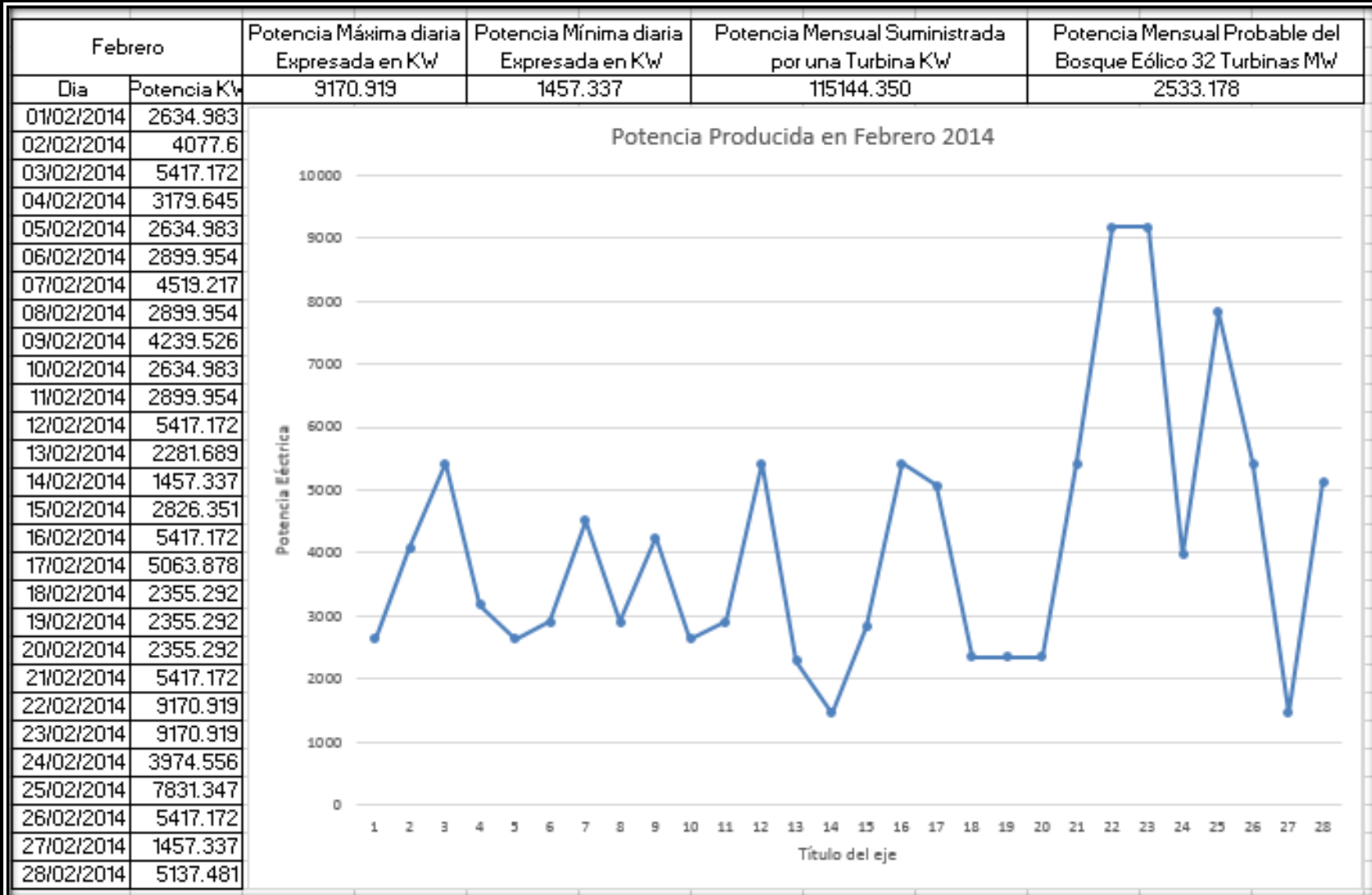
(*) Temperatura del suelo: 20°C
 Temperatura ambiente: 30°C
 Temperatura en el conductor: 80°C
 Resistividad del suelo: 1 Ω .m/W

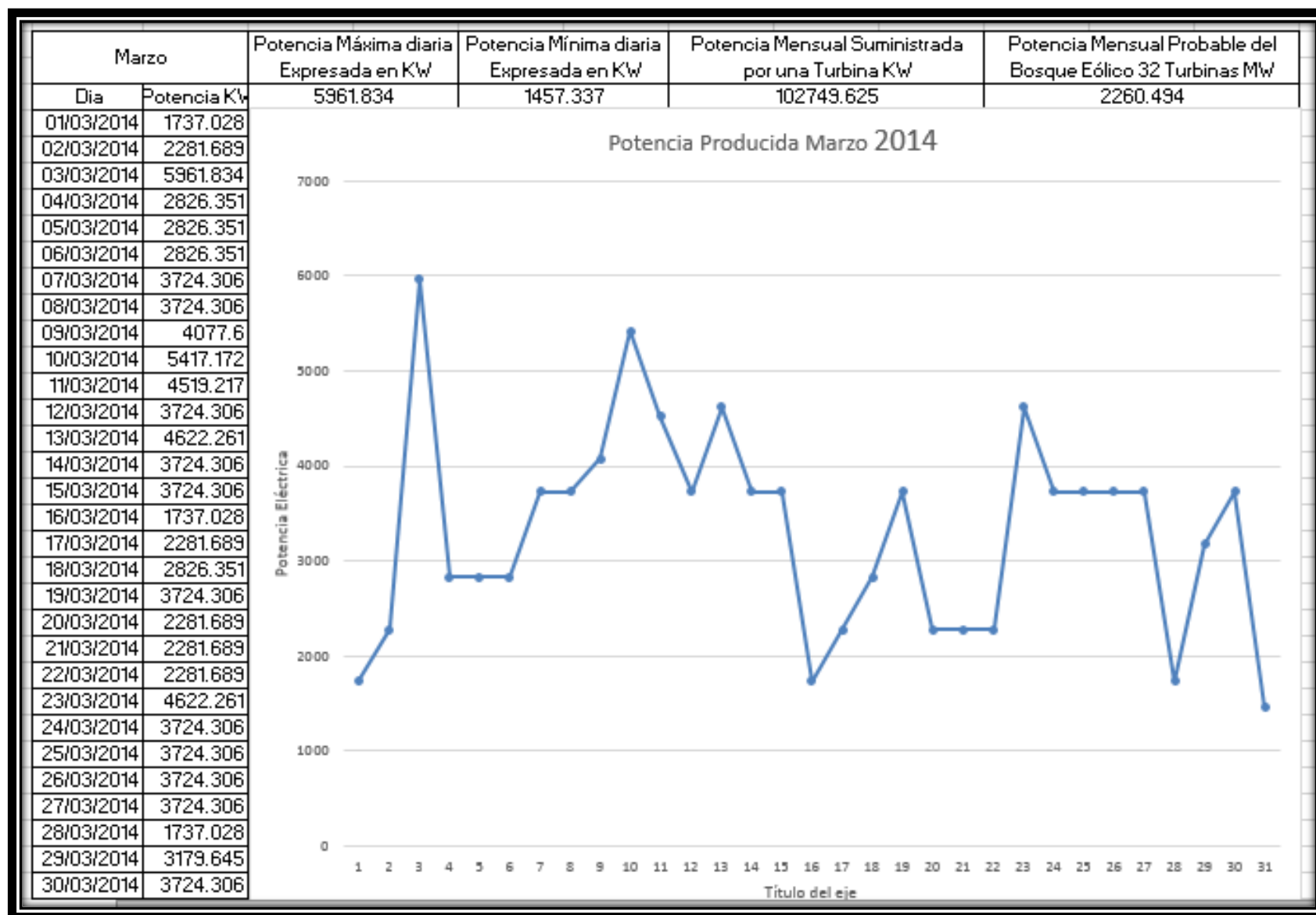
GAMESA G52-850 KW

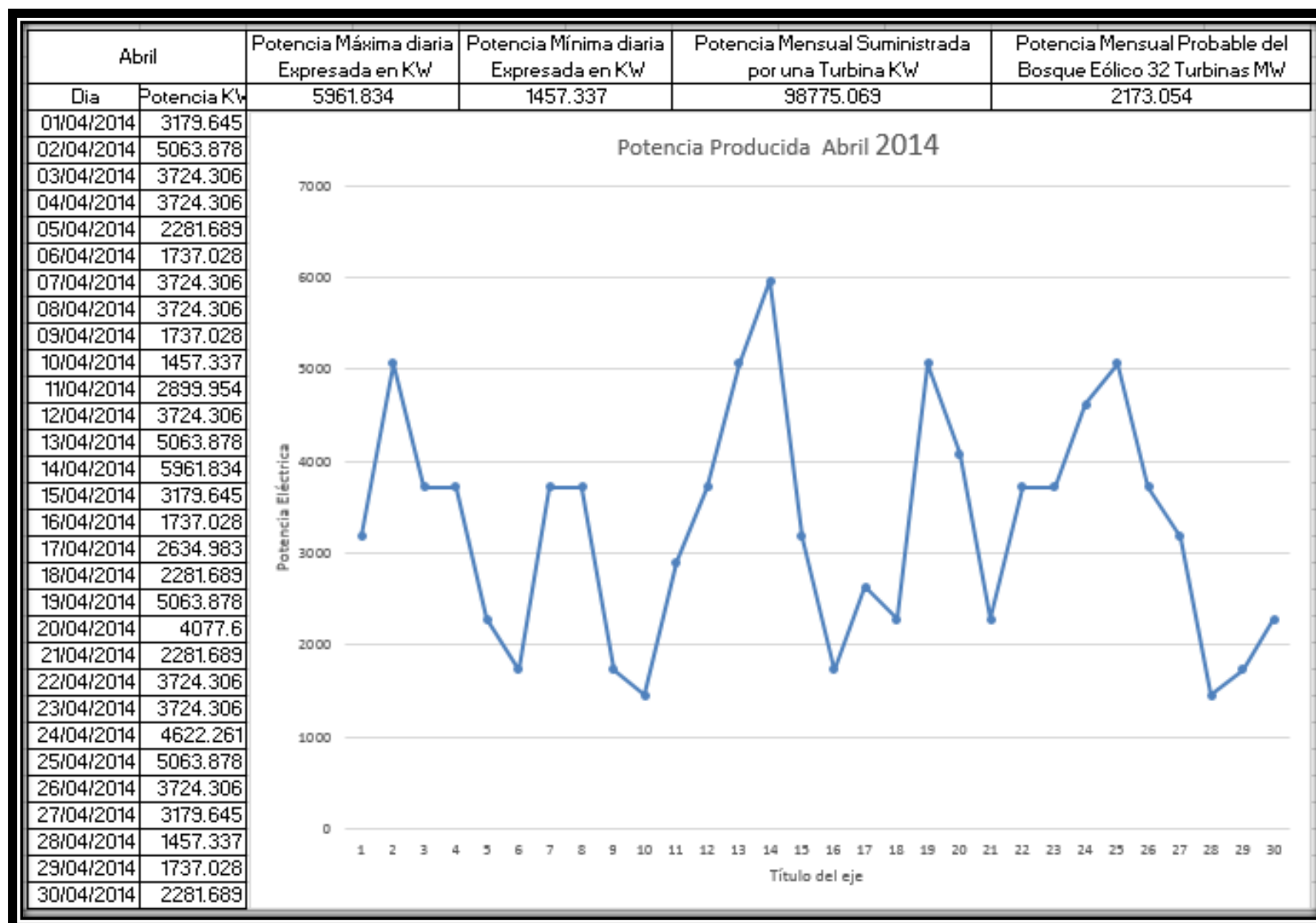


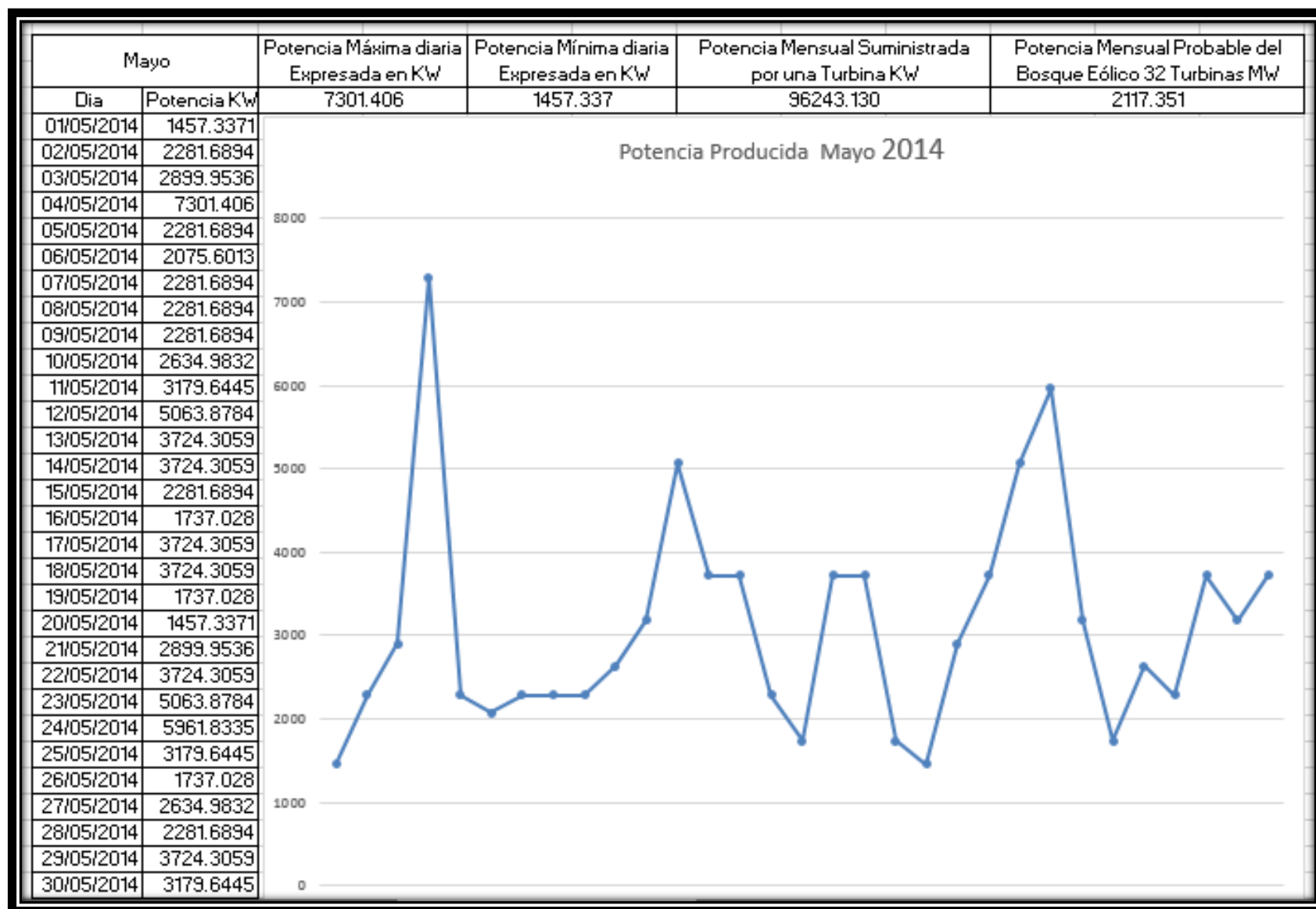
Anexo 10: Cuadro de Potencia Eléctrica Producida (2014 – 2015)

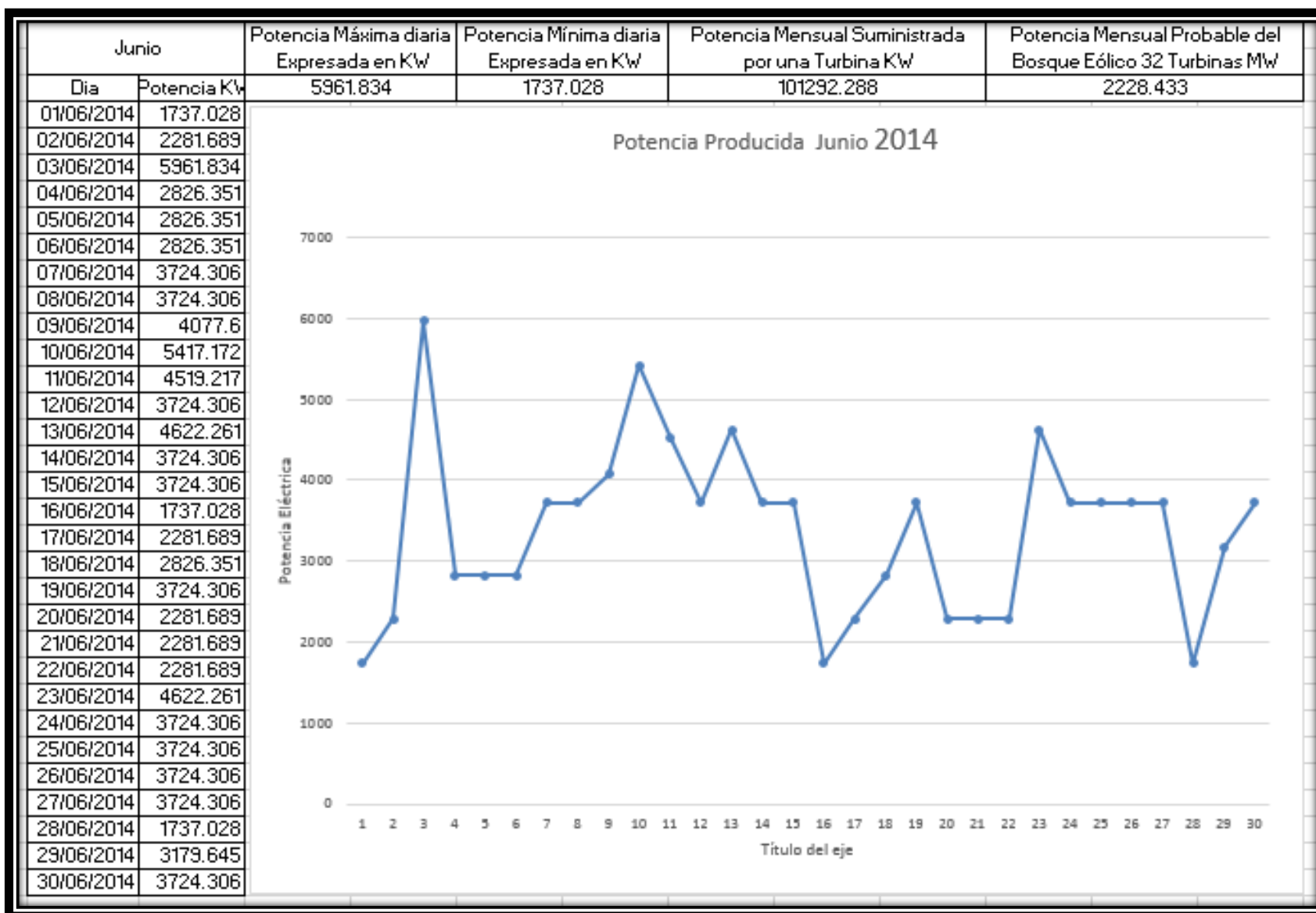


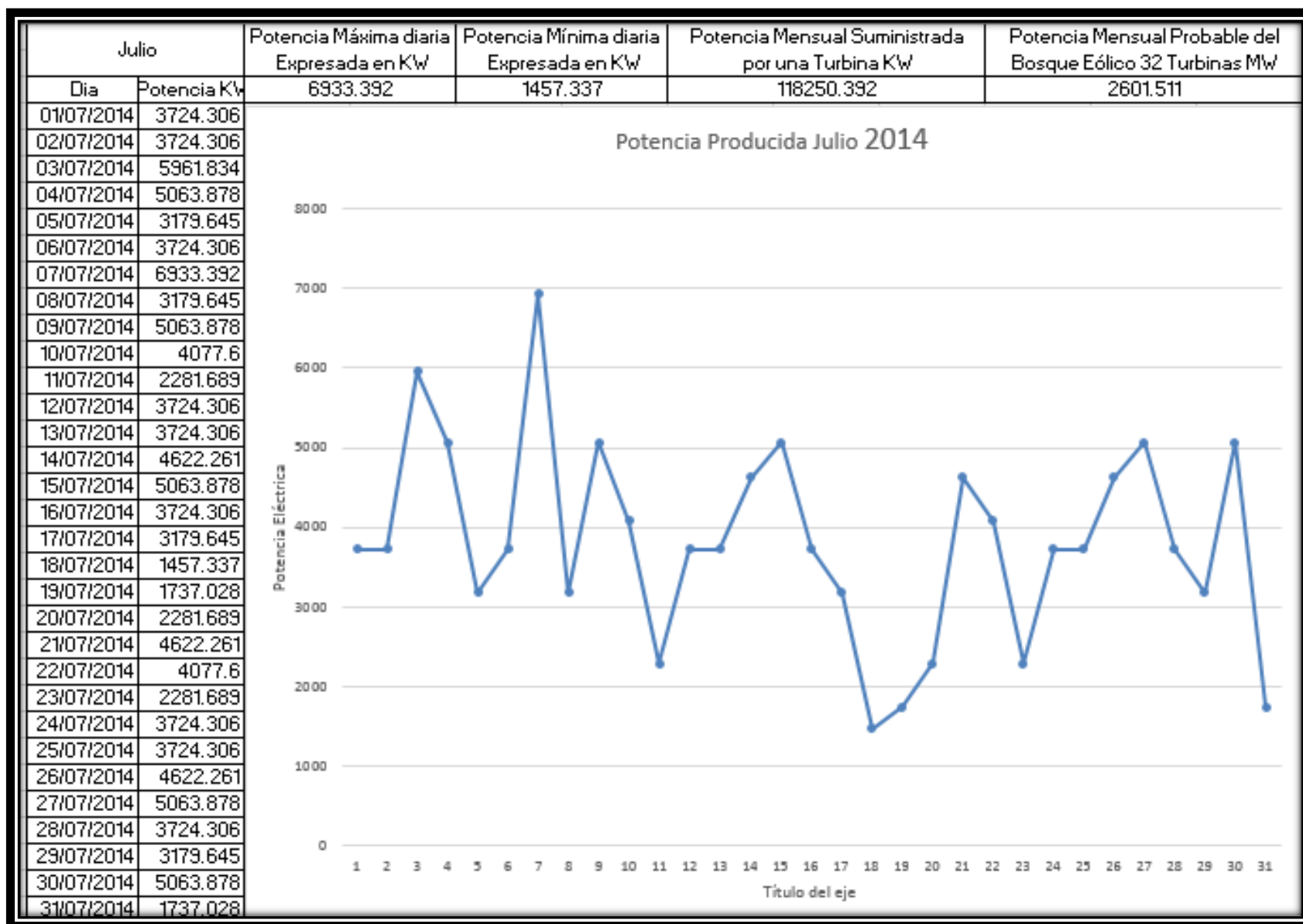


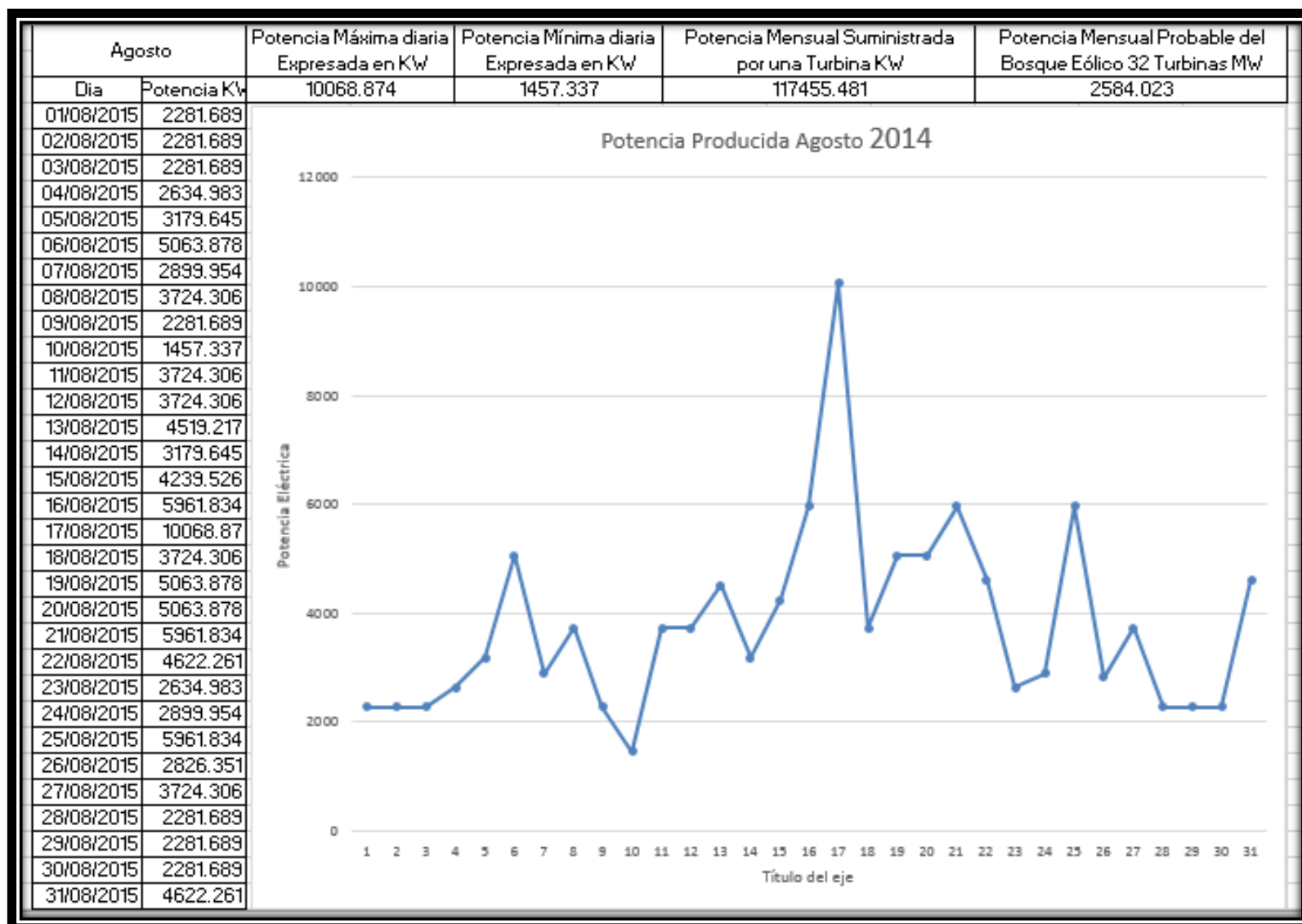


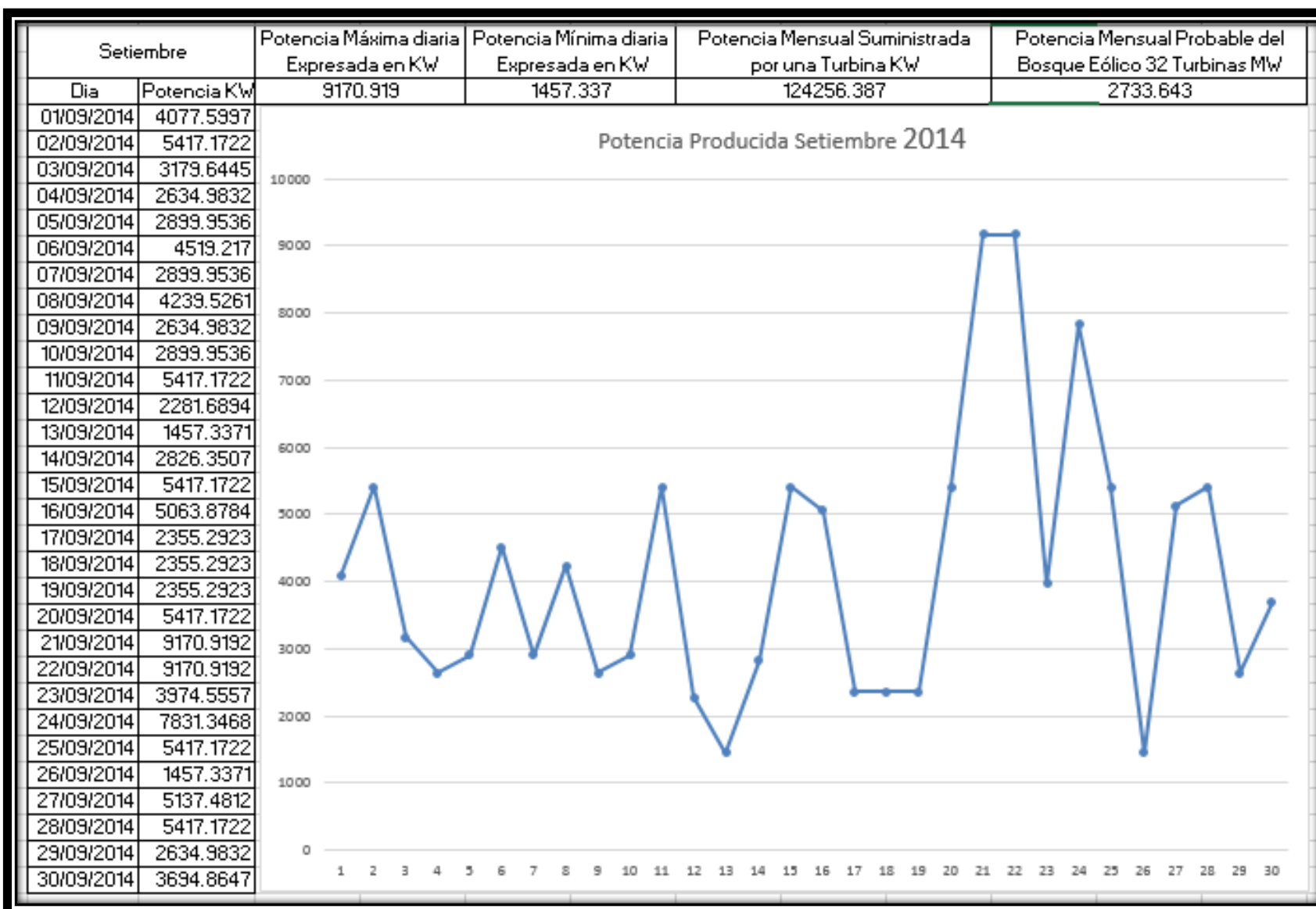


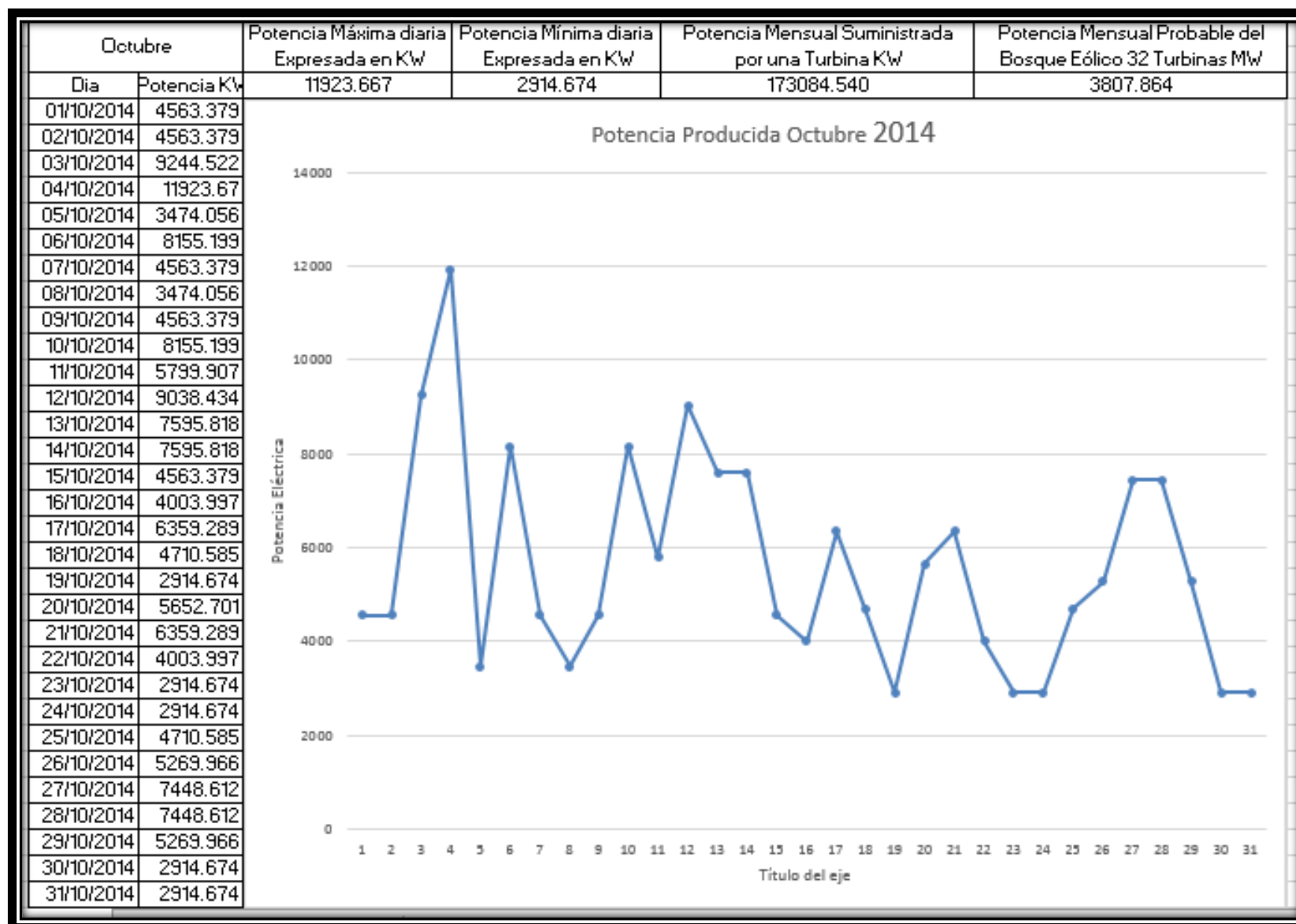


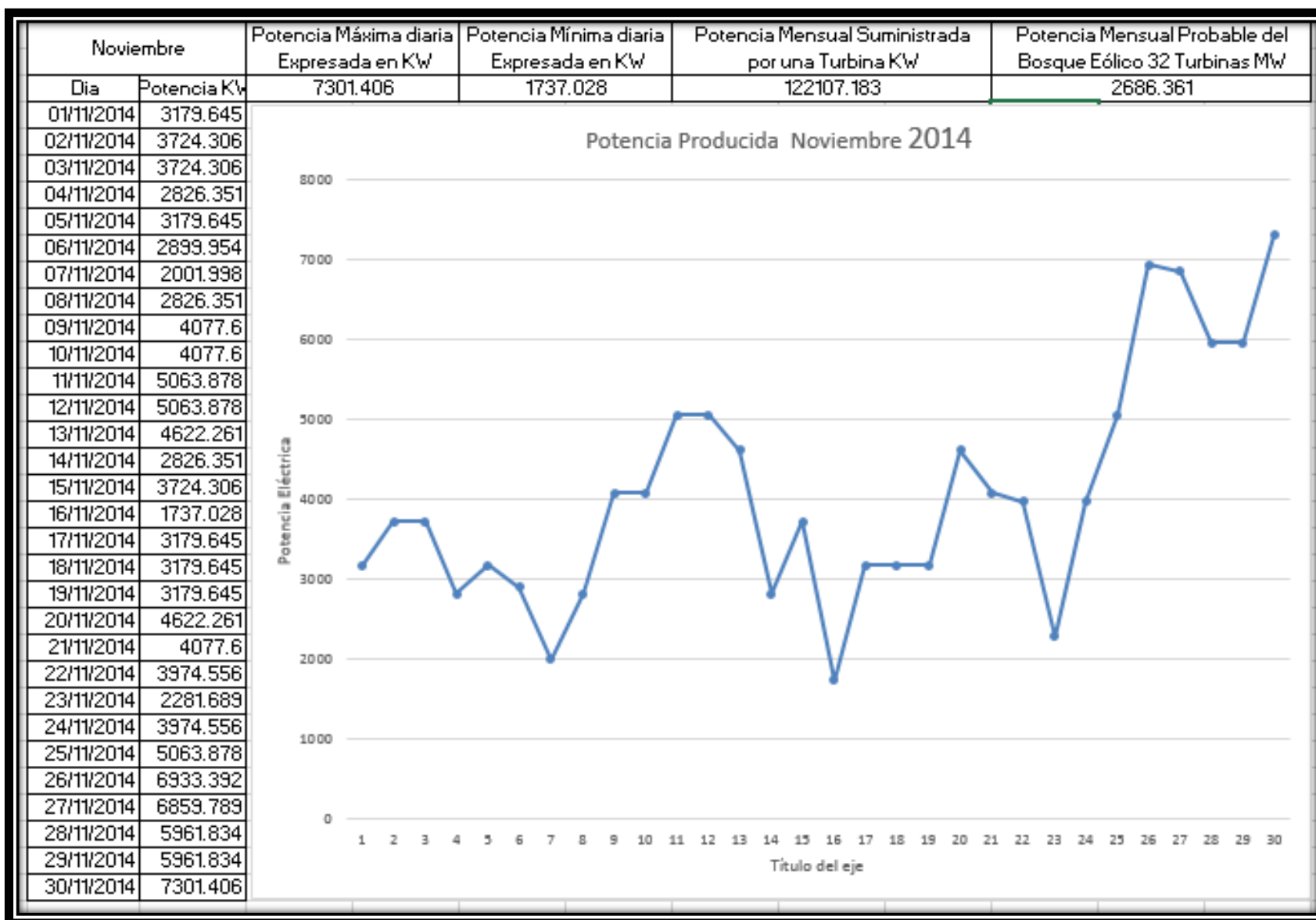


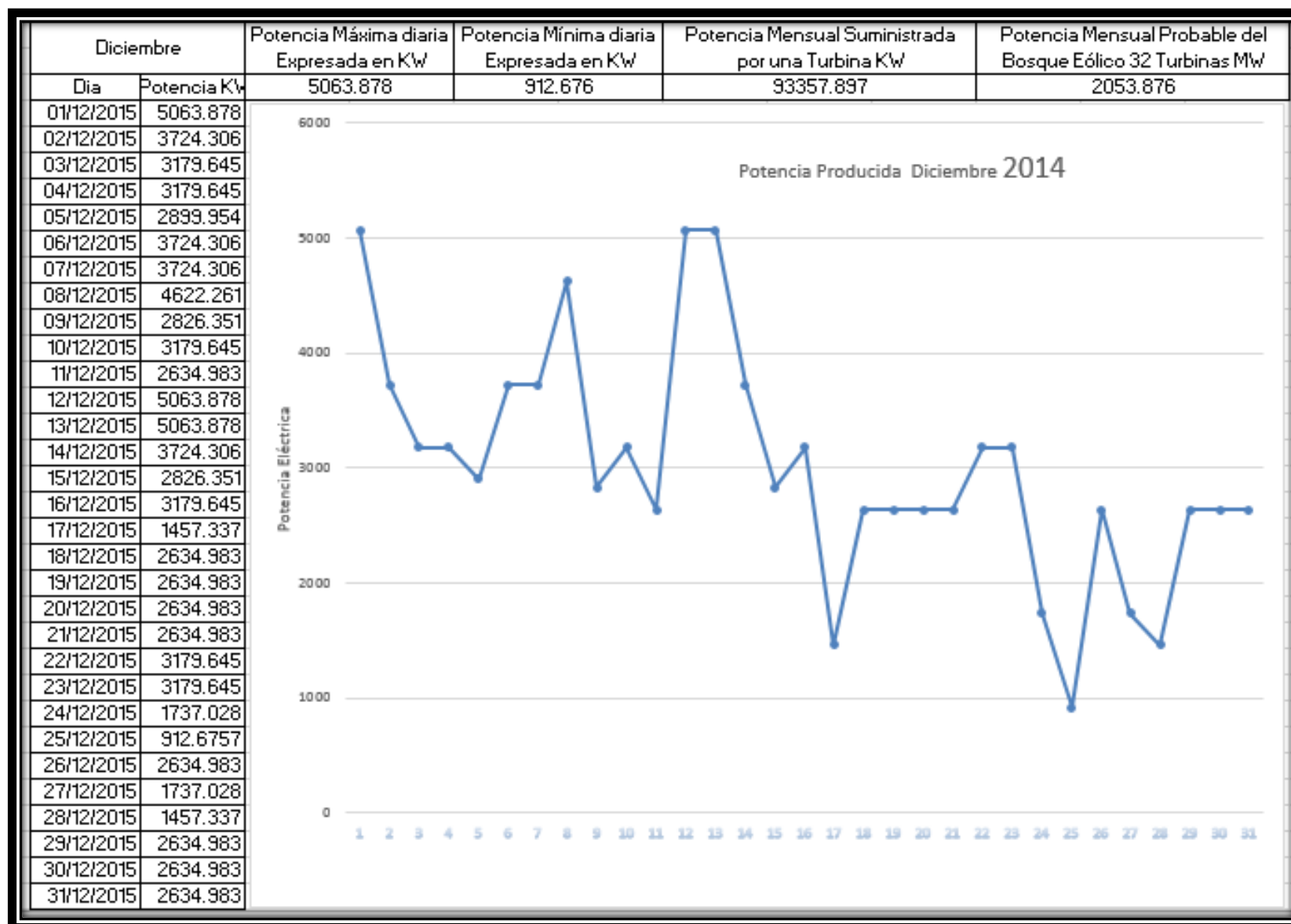












Anexo 11: Distribución de los Aerogeneradores.



Anexo 12: Diagrama Unifilar del Bosque Eólico

